



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ПРЕЗИДЕНТІНІҢ ЖАНЫНДАҒЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ

№03

ISSN 2304-3334
№03(111)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**

Research, results	Ізденістер, нәтижелер	Исследования, результаты
Published since 1999.	Издается с 1999 г. Том	Издается с 1999 г.
Volume 28. No.111. 2026	28. No.111. 2026	Том 28. No.111. 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 Айнур 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.I. Abilov, S.Zh. Assylbekova, S.Y. Dolgopolova, A.A. Mukatai BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE <i>Rutilus caspius</i> (Yakovlev, 1870) IN THE CASPIAN SEA	8
S.K. Abugaliyev, L.K. Bupabayeva, E.A. Babich EFFICIENCY OF USING MODERN METHODS OF REPRODUCTION IN DAIRY CATTLE BREEDING IN KOSTANAY REGION.....	23
M.B. Kalmagambetov, A.T. Berikbaeva, L.B. Mukanova, A.A. Baisabyrova REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF HEIFERS AND YOUNG COWS UNDER DIFFERENT RUMEN DEGRADABLE PROTEIN AVAILABILITY	38
K.Zh. Syman, A.A. Kirgizbayeva, Zh.A. Abdukadirova INVESTIGATION OF CAMEL MILK WHEY PROTEINS BY SDS-PAGE METHOD	51

AGRICULTURE, AGROCHEMICAL, FEED PRODUCTION, AGROECOLOGY

G.E. Asylbekova, B.K. Zhumabekova, A.S. Akmullayeva, B.T. Raimbekova, A. Gadimov AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE BIOINDICATOR POTENTIAL OF THYME <i>THYMUS SERPYLLUM</i> L. IN VARIOUS NATURAL-ANTHROPOGENIC CONDITIONS	62
A. Doszhanova, Zh. Ospanbayev, A. Sembayeva, Sh. Abdukhamova STUDY OF SUGAR BEET SOWING METHODS UNDER SUBSURFACE DRIP IRRIGATION	71
V.I. Kobernitsky, V.A. Volobaeva, I.A. Zhirnova DYNAMICS OF THE LEAF SURFACE OF WHEAT IN THE STEPPE ZONE OF KAZAKHSTAN	84
M.T. Sembekov, M.A. Kaigermazova, E.A. Shadenova A BIOTECHNOLOGICAL APPROACH TO CREATING FEED ADDITIVES BASED ON MICROCLONAL BIOMASS FROM <i>PAULOWNIA TOMENTOSA</i>	94
A.I. Kharipzhanova, A.A. Bolatbekova, M.T. Kumabayeva, A.M. Kokhmetova, Y.V. Zeleneva FIELD AND MOLECULAR SCREENING OF WHEAT RESISTANCE TO PTR IN SOUTH-EASTERN KAZAKHSTAN.....	106
N.Zh. Shissenbayeva, A. Adilkhankyzy, G.B. Berden, A.A. Kassymov, N.Y. Tashigul DOSE-DEPENDENT MORTALITY OF THE SPIDER MITE <i>TETRANYCHUS TURKESTANI</i> UNDER TREATMENT WITH VARIOUS ACTIVE INGREDIENTS OF ACARICIDES	121

WATER, LAND AND FOREST RESOURCES

O.S. Baimakhanov, M.N. Abdukadirova, K.I. Akylbayev, A.T. Shegenbayev, A.O. Olzhabayeva SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL STUDY OF THE USE OF WASTEWATER IN AGRICULTURE: THE CASE OF KYZYLORDA CITY	136
N.B. Zhumabay, A.S. Yegizbayeva, K.V. Konstantinova, N.E. Bismukhamedov IMPACT OF SNOW COVER ON WATER AVAILABILITY DURING THE GROWING SEASON (CASE STUDY OF THE KURAGATY SUB-BASIN)	147
M.S. Kalieva, G.K. Serikbaeva, G.E. Akhmetkerimova ORGANIZATION OF SETTLEMENT LANDS IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION	160
K. Narbayeva, A. Tairov, G. Ismailova, F. Madenova, A. Tolstikov ANALYSING WATER BALANCE OF THE SYRDARYA RIVER RESERVOIRS UNDER WATER STRESS CONDITIONS.....	169
A.A. Nurgazyeva, A.T. Toktar ASSESSMENT OF THE RESOURCE POTENTIAL AND QUALITY OF GROUNDWATER FOR PASTURE WATERING IN THE AKTOBE REGION	180
M.S. Tolgambayev, M.K. Baybatshanov, A.T. Zhubanyshova, V.O. Salovarov DETERMINATION OF POPULATION DENSITY BASED ON THE RESULTS OF SAIGA ANTELOPE POPULATION COUNTS.....	194

AGRICULTURE MECHANIZATION AND ELECTRIFICATION

D. Abulkhairrov, I. Sagynganova, M. Userbaev, S. Mendalieva, B. Smailova JUSTIFICATION AND MODELING OF THE PROCESS OF PNEUMATIC MECHANICAL LOADING OF HAY INTO THE COLLECTION CHAMBER OF A HARVESTING AND TRANSPORT UNIT	203
A.C. Rzaliyev, S. Bekbossynov, B.II. Goloborodko, I. Mizanbekov PRECISION SEEDING MACHINE FOR SUGAR BEET ADAPTED TO THE SOIL AND CLIMATE CONDITIONS OF THE SOUTHERN ZONE OF KAZAKHSTAN.....	216
A.Z. Sapakov, S.Z. Sapakova, A.R. Karassayeva VACUUM FREEZE-DRYING SYSTEM WITH INVERTER COMPRESSOR	231
B.D. Sarbalina, A.N. Urazgalieva, A.A. Taskairova METHODS FOR TESTING SHEEP MANURE FOR MOISTURE	248

МАЗМҰНЫ

МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ ВЕТЕРИНАРИЯ

Б.И. Абилов, С.Ж. Асылбекова, С.Ю. Долгополова, А.А. Мұқатай КАСПИЙ ТЕҢІЗІНДЕГІ ҚАРАКӨЗДІҢ <i>Rutilus caspicus</i> (Yakovlev, 1870) БИОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ.....	8
С.Қ. Абуғалиев, Л.К. Бүпбаева, Е.А. Бабич ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ СҮТТІ МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДА КӨБЕЮДІҢ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ	23
М.Б. Калмагамбетов, А.Т. Берикбаева, Л.Б. Мұқанова, А.А. Байсабырова РАЦИОН ПРОТЕИНИНІҢ МЕСҚАРЫНДАҒЫ ЫДЫРАУ ДӘРЕЖЕСІ ӨРТҮРЛІ БОЛҒАН ЖАҒДАЙДА ҚАШАРЛАР МЕН ҚҰНАЖЫНДАРДЫҢ КӨБЕЮ ҚАБІЛЕТТІЛІГІ	38
Қ.Ж. Сыман, А.А. Қырғызбаева, Ж.А. Абдукадинова ТҮЙЕ СҮТІНДЕГІ САРЫСУАҚҰЫЗДАРЫН SDS-PAGE ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ	51

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ, АГРОХИМИЯ, АЗЫҚ ӨНДІРУ, АГРОЭКОЛОГИЯ

Г.Е. Асылбекова, Б.К. Жумабекова, А.С. Акмуллаева, Б.Т. Райымбекова, А. Гадимов БАЯНАУЫЛ ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІНІҢ АУМАҒЫНДАҒЫ ЖЕБІРШӨПТІҢ (<i>THYMUS SERPYLLUM L.</i>) ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ	62
А. Досжанова, Ж. Оспанбаев, А. Сембаева, Ш. Абдуханмова ЖЕРАСТЫ ТАМШЫЛАТЫП СУАРУ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАНТ ҚЫЗЫЛШАСЫНЫҢ СЕБУ ТӘСІЛДЕРІН ЗЕРТТЕУ	71
В.И. Коберницкий, В.А. Волобаева, И.А. Жирнова ҚАЗАҚСТАННЫҢ ДАЛА АЙМАҒЫНДАҒЫ БИДАЙДЫҢ ЖАПЫРАҚ БЕТІНІҢ ДИНАМИКАСЫ.....	84
М.Т. Сембеков, М.А. Кайгермазова, Е.А. Шаденова PAULOWNIA TOMENTOSA ӨСІМДІГІНЕН АЛЫНҒАН МИКРОКЛОНДЫҚ БИОМАССАҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ЖЕМ ҚОСПАЛАРЫН ЖАСАУҒА БИОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТӘСІЛ	94
А.І. Харіпжанова, А.А. Болатбекова, М.Т. Кумарбаева, А.М. Кохметова, Ю.В. Зеленева ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАНДА БИДАЙДЫҢ PTR-ГЕ ТӨЗІМДІЛІГІН ДАЛАЛЫҚ ЖӘНЕ МОЛЕКУЛАЛЫҚ СКРИНИНГТЕУ	106
Н.Ж. Шисенбаева, А.Әділханқызы, Г.Б. Берден, А.А.Касымов, Н.Е. Ташигул ӨРТҮРЛІ АКАРИЦИДТЕРДІҢ ӨСЕР ЕТУШІ ЗАТТАРЫМЕН ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ TETRANYCHUS TURKESTANI ӨРМЕКШІ КЕНЕСІНІҢ ДОЗАҒА ТӘУЕЛДІ ӨЛІМІ	121

СУ, ЖЕР ЖӘНЕ ОРМАН РЕСУРСТАРЫ

Ө.С. Баймаханов, М.Н. Абдукодирова, Қ.И. Ақылбаев, А.Т. Шегенбаев, А.О. Олжабаева ҚЫЗЫЛОРДА ҚАЛАСЫ МЫСАЛЫНДА ТӨГІНДІ СУЛАРДЫ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҒЫНДА ПАЙДАЛАНУДЫ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТҮРҒЫДАН ЗЕРТТЕУ	136
Н.Б. Жумабай, А.С. Егізбаева, К.В. Константинова, Н.Э. Бекмухамедов СУАРУ КЕЗЕҢІНДЕ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ҚОЛЖЕТІЛІМДІЛІГІНЕ МАУСЫМДЫҚ ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ДИНАМИКАСЫНЫҢ ӨСЕРІ (ҚҰРАҒАТЫ СУБ-БАССЕЙНІ МЫСАЛЫНДА)	147
М.С. Қалиева, Г.К. Серикбаева, Г.Е. Ахметкеримова ЦИФРЛАНДЫРУ ЖАҒДАЙЫНДА ЕЛДІ МЕКЕН ЖЕРЛЕРІН ҰЙЫМДАСТЫРУ	160
К.Т. Нарбаева, А.З. Таиров, Г.К. Исмаилова, Ф.Б. Маденова, А.В. Толстиков СЫРДАРΙΑ ӨЗЕҢІНДЕГІ СУ ҚОЙМАЛАРЫНЫҢ СУ БАЛАНСЫН СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ КҮЙЗЕЛІСІ ЖАҒДАЙЫНДА ТАЛДАУ	169
А.А. Нұрғазиева, Ә.Т. Тоқтар АҚТӨБЕ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЖАЙЫЛЫМДАРДЫ СУЛАНДЫРУ ҮШІН ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫНЫҢ РЕСУРСТЫҚ ӘЛЕУЕТІ МЕН САПАСЫН БАҒАЛАУ	180
М.С. Толгамбаев, М.К. Байбатшанов, А.Т. Жубанышова, В.О. Саловаров АҚБӨКЕНДЕРДІҢ САН БАСЫН ЕСЕПКЕ АЛУ ЖҰМЫСТАРЫ БОЙЫНША ПОПУЛЯЦИЯ ТЫҒЫЗДЫҒЫН АНЫҚТАУ	194

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН МЕХАНИКАЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРЛЕНДІРУ

Д.К. Әбілқайыров, И.К. Сағынганова, М.Т.Усербаев, С.И. Мендалиева, Б.М. Смаилова ЖИНАУ ЖӘНЕ ТАСЫМАЛДАУ ТІРКЕСІНІҢ ЖИНАУ БӨЛІМШЕСІНЕ АУАМЕХАНИКАЛЫҚ АҒЫНЫМЕН ШӨП ТҮСУ ПРОЦЕСІН НЕГІЗДЕУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ	203
А.С. Рзалиев, С. Бекбосынов, В.П. Голобородко, И. Мизанбеков ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК АЙМАҒЫНЫҢ ТОПЫРАҚТЫҚ-КЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЫНА БЕЙІМДЕЛГЕН ҚАНТ ҚЫЗЫЛШАСЫНЫҢ ТҰҚЫМЫН ДӘЛ СЕПКІШ	216
А.З. Сапаков, С.З. Сапакова, Ә.Р. Карасаева ИНВЕРТОРЛЫҚ КОМПРЕССОРЫ БАР ВАКУУМДЫҚ СУБЛИМАЦИЯЛЫҚ КЕПТІРУ ЖҮЙЕСІ	231
Б.Д. Сарбалина, А.Н. Уразғалиева, А.А. Таскаирова ҚОЙДЫҢ ТӨСЕНІШТІ КӨҢІНІҢ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ БОЙЫНША СЫНАҚ ЖҮРГІЗУ ӘДІСТЕМЕСІ	248

СОДЕРЖАНИЕ ЖИВОТНОВОДСТВО И ВЕТЕРИНАРИЯ

Б.И. Абилов, С.Ж. Асылбекова, С.Ю. Долгополова, А.А. Мукатай БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОБЛЫ <i>Rutilus caspicus</i> (Yakovlev, 1870) В КАСПИЙСКОМ МОРЕ	8
С.К. Аbugалиев, Л.К. Бунбаева, Е.А. Бабич ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ВОСПРОИЗВОДСТВА В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ КОСТНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ	23
М.Б. Калмагамбетов, А.Т. Берикбаева, Л.Б. Муканова, А.А. Байсабырова РЕПРОДУКТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТЕЛОК И НЕТЕЛЕЙ ПРИ РАЗНОЙ ДОСТУПНОСТИ ПРОТЕИНА РАЦИОНА ФЕРМЕНТАЦИИ В РУБЦЕ.....	38
К.Ж. Сыман, А.А. Киргизбаева, Ж.А. Абдукадирова ИССЛЕДОВАНИЕ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ ВЕРБЛЮЖЬЕГО МОЛОКА МЕТОДОМ SDS-PAGE	51

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, КОРМОПРОИЗВОДСТВО, АГРОЭКОЛОГИЯ Г.Е. Асылбекова, Б.К.

Жумабекова, А.С. Акмуллаева, Б.Т. Раймбекова, А. Гадимов ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧАБРЕЦА (<i>THYMUS SERPYLLUM L.</i>) НА ТЕРРИТОРИИ БАЯНАУЛЬСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКАПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ	62
А. Досжанова, Ж. Оспанбаев, А. Сембаева, Ш. Абдухаимова ИЗУЧЕНИЯ СПОСОБОВ ПОСЕВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ПОДПОЧВЕННОМ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ.....	71
В.И. Коберницкий, В.А. Волобаева, И.А. Жирнова ДИНАМИКА ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПШЕНИЦЫ СТЕПНОЙ ЗОНЫ КАЗАХСТАНА	84
М.Т.Сембеков, М.А. Кайгермазова, Е.А. Шаденова БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ КОРМОВЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ МИКРОКЛОНАЛЬНОЙ БИОМАССЫ <i>PAULOWNIA TOMENTOSA</i> ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ	94
А.И.Харіпжанова, А.А. Болатбекова, М.Т.Кумарбаева, А.М. Кохметова, Ю.В. Зеленева ПОЛЕВОЙ И МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СКРИНИНГ УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ К PTR В ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ ...	106
Н.Ж. Шисенбаева, А.Әділханқызы, Г.Б. Берден, А.А. Касымов, Н.Е. Ташигул ДОЗАЗАВИСИМАЯ СМЕРТНОСТЬ ПАУТИННОГО КЛЕЩА <i>TETRANYCHUS TURKESTANI</i> ПРИ ОБРАБОТКЕ РАЗЛИЧНЫМИ ДЕЙСТВУЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ АКАРИЦИДОВ	121

ВОДНЫЕ, ЗЕМЕЛЬНЫЕ И ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ

О.С. Баймаханов, М.Н. Абдукадирова, К.И. Акылбаев, А.Т. Шегенбаев, А.О. Олжабаева НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КЫЗЫЛОРДЫ	136
Н.Б. Жумабай, А.С. Егизбаева, К.В. Константинова, Н.Э. Бекмухамедов ВЛИЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА (НА ПРИМЕРЕ СУБ-БАССЕЙНА КУРАГАТЫ)	147
М.С. Қалиева, Г.К. Серикбаева., Г.Е. Ахметкеримова ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ.....	160
К.Т. Нарбаева, А.З. Таиров, Г.К. Исмаилова, Ф.Б. Маденова, А.В. Толстиков АНАЛИЗ ВОДНОГО БАЛАНСА ВОДОХРАНИЛИЩ РЕКИ СЫРДАРЬЯ В УСЛОВИЯХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРЕССА	169
А.А. Нургазиева, Ә.Т. Токтар ОЦЕНКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА И КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОБВОДНЕНИЯ ПАСТБИЩ АКТЮБИНСКОЙ ОБЛАСТИ	180
М.С. Толгамбаев, М.К. Байбатшанов, А.Т. Жубанышова, В.О. Саловаров ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ САЙГАКОВ.....	194

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Д.К. Абулхаиров, И.К. Сагынганова, М.Т. Усербаев, С.И. Мендалиева, Б.М. Смаилова ОБОСНОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПОГРУЗКИ СЕНА В СБОРОЧНУЮ КАМЕРУ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА	203
А.С. Рзалиев, С. Бекбосынов, В.П. Голобородко, И. Мизанбеков СЕЯЛКА ТОЧНОГО ВЫСЕВА ДЛЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ, АДАПТИРОВАННАЯ К ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ЮЖНОЙ ЗОНЫ КАЗАХСТАНА	216
А.З. Сапаков, С.З. Сапакова, А.Р. Карасаева ВАКУУМНАЯ СУБЛИМАЦИОННАЯ СУШИЛЬНАЯ СИСТЕМА С ИНВЕРТОРНЫМ КОМПРЕССОРОМ	231
Б.Д. Сарбалина, А.Н. Уразгалиева, А.А. Таскаирова МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПОДСТИЛОЧНОГО ОВЕЧЬЕГО НАВОЗА НА ВЛАЖНОСТЬ.....	248

STOCK-RAISING AND VETERINARY

МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ ВЕТЕРИНАРИЯ

ЖИВОТНОВОДСТВО И ВЕТЕРИНАРИЯ

RESEARCH, RESULTS – ИЗДЕНИСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР – ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ

ISSN 2304-3334 (print)

Vol. 28. Is. 3. Number 111 (2026). Pp. 8–22

Journal homepage: <https://journal.kaznaru.edu.kz><https://doi.org/10.37884/3-2026/01>

IRSTI / FTAXP / МРНТИ / 69.09.07



B.I. Abilov*, S.Zh. Assylbekova, S.Y. Dolgopolova, A.A Mukatai
 LLP «Scientific and production center of fisheries», Almaty, Kazakhstan.
 E-mail: b.i.abilov@mail.ru

BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) IN THE CASPIAN SEA

Abilov Berdibek Ibragimovich, PhD, leading researcher at the aquaculture laboratories of Scientific and Production Center of Fisheries LLP, Kazakhstan, 050016, Almaty, Suyunbaya 89a

E-mail: b.i.abilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0445-5400>;

Assylbekova Saule Zhangirovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, First Deputy General Director of Scientific and Production Center of Fisheries LLP, Kazakhstan, 050016, Almaty, Suyunbaya 89a

E-mail: assylbekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6648-4744>;

Dolgopolova Svetlana Yurievna, PhD, leading researcher at the aquaculture laboratories of Scientific and Production Center of Fisheries LLP, Kazakhstan, 050016, Almaty, Suyunbaya 89a

E-mail: sveta.dolgopolova.1987@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9406-8449>;

Mukatai Aiida Aigalymkyzy, Master of Agriculture, researcher of the Laboratory of Hydroanalytics, LLP «Fisheries Research and Production Center», Republic of Kazakhstan, 050016, Almaty, Suyunbai 89A

E-mail: aida94mukatai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0364-324X>.

Abstract. The article examines the biological and trophic parameters of the *Rutilus* population in the Caspian Sea basin. During the study, 442 individuals were selected from 10 fixed stations in the northern waters of the Caspian Sea. For these fish, an analysis of length and weight, fatness coefficients, age and sex structure, as well as an assessment of the degree of intestinal fullness on a point scale, was carried out. The study was performed using standard ichthyological methods. The results showed that the growth of the *Rutilus* is based on a close dependence of length and mass and has an allometric character. This confirms that with a sufficient food supply, the mass increases faster than the length. In addition, the stability of fatness coefficients indicates a good physiological condition of the fish and favorable living conditions. The analysis of the population structure revealed the predominance of young individuals, which indicates an active process of natural reproduction. A relatively small number of large and older fish can be associated with both natural factors and anthropogenic impact. The characteristics of the sexual structure are also an important indicator of population stability. The analysis of feeding activity showed that the *Rutilus* get enough food in their natural habitat and that the feeding process proceeds evenly. In general, the current state of the *Rutilus* population is assessed at a satisfactory level, and it has been established that it is well adapted to the environmental conditions of the Caspian Sea. The results of the study can serve as a scientific basis for improving measures for the rational use, protection, and management of fish resources.

Keywords: rutilus, score, length, weight, chart, population

For citation: B.I. Abilov, S.Zh. Assylbekova, S.Y. Dolgoplova, A.A. Mukatai (2026). Biological characteristics of the rutilus caspicus (Yakovlev 1870) in the Caspian Sea // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 8–22. <https://doi.org/10.37884/3-2026/01> [In Kaz.].

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

Funding: The research work was carried out within the framework of the program, VR21882122

“Sus-tainable development of natural, economic and socio-economic systems of the West Kazakhstan region in the context of green development: comprehensive analysis, concept, forecast assessment and scenarios”.

Б.И. Абилов*, С.Ж. Асылбекова, С.Ю. Долгополова, А.А. Мұқатай

«Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы», ЖШС, Алматы, Қазақстан.

E-mail: b.i.abilov@mail.ru

КАСПИЙ ТЕҢІЗІНДЕГІ ҚАРАКӨЗДІҢ *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) БИОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАСЫ

Абилов Бердібек Ибрагимұлы, PhD, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС ак-вакультура зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050016, Алматы, Сүйінбай
E-mail: b.i.abilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0445-5400>;

Асылбекова Сауле Жангирқызы, биология ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан, ҰАҒА академигі, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС бас директордың бірінші орынбасары, Қазақстан, 050016, Алматы, Сүйінбай 89а
E-mail: assylbekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6648-4744>;

Долгополова Светлана Юрьевна, PhD, «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС гидроаналитика зертханасының меңгерушісі, Қазақстан, 050016, Алматы, Сүйінбай 89а
E-mail: sveta.dolgoplova.1987@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9406-8449>;

Мұқатай Айда Айғалымқызы, ауыл шаруашылығы магистрі, ЖШС «Балық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» гидроаналитика зертханасының ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050016, Алматы, Сүйінбай 89а
E-mail: aida94mukatai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0364-324X>.

Аннотация. Бұл мақалада каспий теңізінің солтүстік бөлігіндегі қаракөз популяциясының биологиялық және трофикалық көрсеткіштеріне зерттеу жүргізілді. Ғылыми зерттеу жұмыстарын жүргізу кезінде каспий теңізінде белгіленген 10 сынама алу станцияларынан жалпы саны 442 дана балық ауланды. Сондай ақ, оларға талдау жүргізіліп, ұзындық-салмақтық ара-қатынасы, қондылық коэффициенттері, жасы және жыныстық ара-қатынасы және қоректену көрсеткіштері баллдық шкаламен бағаланды. Зерттеу стандартты ихтиологиялық әдістерді қолдана отырып, ауланған балықтар бойынша жүргізілді. Алынған нәтижелер қаракөз балығының өсуі ұзындық пен салмақ арасындағы тығыз байланысқа негізделетінін және оның аллометриялық сипатта жүретінін көрсетті. Бұл балықтардың тіршілік ортасында қорек қоры жеткілікті болған жағдайда салмақтың ұзындыққа қарағанда қарқынды өсетінін дәлелдейді. Сонымен қатар, қондылық көрсеткіштерінің тұрақтылығы балықтардың физиологиялық жағдайының жақсы екенін және олардың тіршілік ортасы қолайлы екенін айқындайды. Популяция құрылымын талдау барысында жас дарактардың басым екені анықталды, бұл табиғи жаңару процесінің белсенді жүріп жатқанын көрсетеді. Ірі және жасы үлкен дарактардың салыстырмалы түрде аз болуы табиғи факторлармен қатар антропогендік әсерлердің ықпалымен түсіндірілуі мүмкін. Жыныстық құрам ерекшеліктері де популяцияның тұрақтылығын сипаттайтын маңызды көрсеткіштердің бірі болып табылады. Қоректену белсенділігіне жүргізілген талдау балықтардың табиғи ортада жеткілікті қорекпен қамтамасыз етілгенін және қоректену процесінің бірқалыпты жүретінін көрсетті. Жалпы алғанда, қаракөз балығы популяциясының қазіргі жағдайы қанағаттанарлық деңгейде бағаланып, Каспий теңізінің экологиялық жағдайларына жақсы бейімделгені анықталды. Зерттеу нәтижелері балық ресурстарын ұтымды пайдалану, қорғау және

басқару шараларын жетілдіру үшін ғылыми негіз бола алады.

Түйін сөздер: қаракөз, бағалау, ұзындық, салмақ, диаграмма, популяция

Дәйексөз үшін: Б.И. Абилов, С.Ж. Асылбекова, С.Ю. Долгополова, А.А. Мұқатай, (2026). Каспий теңізіндегі қаракөздің (*Rutilus caspicus* (Yakovlev 1870)) биологиялық сипаттамасы // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Рр. 8–22. <https://doi.org/10.37884/3-2026/01> [In Kaz.].

Мүдделер қактығысы: авторлар осы мақалада мүдделер қактығысы жоқ деп мәлімдейді.

Алғыс: Бұл жұмыс BR21882122 «Жасыл даму контекстінде Батыс Қазақстан өңірінің табиғи-шаруашылық және әлеуметтік-экономикалық жүйелерінің орнықты дамуы: кешенді талдау, тұжырымдама, болжамды бағалау және сценарийлер» жобасы шеңберінде орындалды.

Б.И. Абилов*, С.Ж. Асылбекова, С.Ю. Долгополова, А.А. Мукатай

ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Алматы, Казахстан.

E-mail: b.i.abilov@mail.ru

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОБЛЫ *Rutilus caspicus* (Yakovlev, 1870) В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

Абилов Бердибек Ибрагимович, PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории аквакультуры ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Казахстан, 050016, Алматы, Суюнбая, 89а
E-mail: b.i.abilov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0445-5400>;

Асылбекова Сауле Жангировна, доктор биологических наук, профессор, академик НААН РК, первый заместитель генерального директора ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Казахстан, 050016, Алматы, Суюнбая, 89а
E-mail: assylbekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6648-4744>;

Долгополова Светлана Юрьевна, PhD, заведующая лабораторией гидроаналитики ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Казахстан, 050016, Алматы, Суюнбая, 89а
E-mail: sveta.dolgopolova.1987@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9406-8449>;

Мукатай Аида Айгалымовна, магистр сельского хозяйства, научный сотрудник лаборатории гидроаналитики ТОО «Научно-производственный центр рыбного хозяйства», Казахстан, 050016, Алматы, Суюнбая, 89а
E-mail: aida94mukatai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0364-324X>.

Аннотация. В статье исследованы биологические и трофические показатели популяции воблы в бассейне Каспийского моря. В ходе исследования было отобрано 442 особи с 10 фиксированных станций северной акватории Каспийского моря. Проведён анализ длины и массы, коэффициентов упитанности, возрастной и половой структуры этих рыб, а также оценка степени наполненности кишечника по балльной шкале. Исследование выполнено с использованием стандартных ихтиологических методов. Полученные результаты показали, что рост воблы основан на тесной зависимости длины и массы и имеет аллометрический характер. Это подтверждает, что при достаточном кормовом обеспечении масса увеличивается быстрее, чем длина. Кроме того, стабильность коэффициентов упитанности указывает на хорошее физиологическое состояние рыб и благоприятные условия их обитания. Анализ структуры популяции выявил преобладание молодых особей, что свидетельствует об активном процессе естественного воспроизводства. Сравнительно небольшое количество крупных и старших рыб может быть связано как с природными факторами, так и с антропогенным воздействием. Особенности половой структуры также являются важным показателем стабильности популяции. Анализ кормовой активности показал, что воблы получают достаточное количество пищи в естественной среде обитания и что процесс питания протекает равномерно. В целом, современное состояние популяции воблы оценивается на удовлетворительном уровне и установлено, что она хорошо адаптирована к экологическим условиям Каспийского моря. Результаты исследования могут служить научной основой для совершенствования мер рационального использования, охраны и управления рыбными ресурсами.

Ключевые слова: вобла, оценка, длина, вес, диаграмма, популяция

Для цитирования: Б.И. Абилов, С.Ж. Асылбекова, С.Ю. Долгополова, А.А. Мукатай (2026). Биологическая характеристика воблы (*Rutilus caspicus* (Yakovlev 1870)) в Каспийском море // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Рр. 8–22. <https://doi.org/10.37884/3-2026/01> [In Kaz.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность: научно-исследовательская работа проводилась в рамках программы, BR21882122 «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого развития: комплексный анализ, концепция, прогнозная оценка и сценарии».

Кіріспе.

Каспий қаракөзі *Rutilus Caspicus* (Yakovlev 1870) – Каспий теңізіндегі балықтардың ең көп таралған және кәсіптік мақсатта ауланатын түрлерінің бірі [Harkonen et al., 2008: 356–361]. Бұл жарты-лай өтпелі балық, оның өмірлік циклінің негізгі бөлігі теңіз суында өтеді және уылдырық шашу үшін Еділ және Жайық өзендеріне миграция жасайды [Иванов, 2000: 83]. Каспий теңізі – әлемдегі ең ірі тұйық су айдыны болып табылады және оның ихтиофаунасы жоғары биологиялық әртүрлілігімен ерекшеленеді. Каспий бассейнінде кәсіптік маңызы бар балық түрлерінің ішінде қаракөз ерекше орын алады. Бұл түр ұзақ уақыт бойы жергілікті халықтың азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуде және балық шаруашылығы саласының экономикалық дамуында маңызды рөл атқарып келеді. Қаракөздің қазіргі биологиялық жағдайы уылдырық шашатын табындар санының төмендеуімен және ересек топтардың үлесінің төмендеуімен сипатталады [Баққожа et al., 2025: 86–97]. Қаракөздің жыныстық жетілуі әдетте 2–3 жасында басталады. Каспий теңізінде қаракөздің уылдырық шашуы көктемде су температурасы 8–12°C кезінде, негізінен су өсімдіктері бар жайылма жерлерде жүреді. Көбеюдің сәттілігі көктемгі су мөлшеріне және уылдырық шашатын жерлердің ыңғайлы болуымен тікелей байланысты. Өзендердің көктемгі ағыны көлемінің азаюы, ги-дрологиялық режимнің өзгеруі және Каспий теңізі деңгейінің төмендеуі түрдің табиғи көбеюіне теріс әсер етеді. Уылдырық шашу кезеңінде браконьерлік аулау, су ортасының ластануы және жем-шөп базасының өзгеруі қосымша шектеуші факторлар болып табылады. Нәтижесінде ұрпақтар санының жылдар бойынша тұрақсыздығы және популяция әлеуетінің жалпы әлсіреуі байқалады [Митрофанов et al., 1987: 52–65; Ветгулина, 2017: 22–28]. Соңғы онжылдықтарда Каспий теңізінің экологиялық жағдайында елеулі өзгерістер байқалуда. Теңіз деңгейінің ауытқуы, өзен ағындарының қысқаруы, климаттық факторлардың өзгеруі және антропогендік жүктеменің артуы балық популяцияларының құрылымы мен өнімділігіне әсер етуде. Әсіресе жартылай өтпелі балықтар үшін уылдырық шашу орындарының қысқаруы және табиғи көбею жағдайының нашарлауы маңызды проблема болып отыр.

Қаракөз популяциясының қазіргі жағдайын бағалау олардың морфометриялық көрсеткіштерін, жас құрылымын, жыныстық құрамын және қоректену ерекшеліктерін кешенді зерттеуді талап етеді. Мұндай зерттеулер популяцияның тұрақтылығын бағалауға, табиғи толықтыру қарқындылығын анықтауға және қорларды ұтымды пайдалану стратегияларын әзірлеуге мүмкіндік береді. Әлемдік тәжірибеде ұзындық-салмақ арақатынасы, қондылық коэффициенттері және жас құрылымының көрсеткіштері балық популяцияларының экологиялық жағдайын бағалаудың негізгі индикаторлары ретінде кеңінен қолданылады. Бұл көрсеткіштер қоректік базаның жағдайын, өсу қарқынын, дарақтардың физиологиялық күйін және қоршаған орта факторларының ықпалын сипаттайды. Сондықтан Каспий қаракөзі бойынша заманауи биологиялық мәліметтерді алу ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті болып табылады. Отандық ғалымдардың [Dautbayeva et al., 2017: 412–420] балықтардың қоректенуі және трофикалық байланыстар туралы экологиялық зерттеулерінде Солтүстік Каспийдегі қаракөз балығы негізінен су түбіндегі организмдермен қоректенетіні, ал қорегінің құрамы жыл маусымдарына және қоршаған орта жағдайларына байланысты екендігі анықталды. Каспийдің солтүстік-шығыс бөлігіндегі қаракөздің биологиялық көрсеткіштеріне, оның ішінде популяцияның ұзындығы, массасы және құрылымы туралы мәліметтерге, сонымен қатар, популяция жағдайына және түрдің таралуына арналған [Камелов et al., 2020: 45–52]. Солтүстік Каспийдегі зерттеулер бойынша су температурасының ауытқуы қаракөздің жас шабақтарының таралуына және табындарының пайда болуына әсер ететінін көрсетеді [Damys et al., 2024: 6].

Соңғы жылдары Каспий теңізі экожүйесінде орын алып жатқан табиғи және антропогендік өзгерістер су биоресурстарының жағдайына айтарлықтай әсер етуде. Климаттың өзгеруі, өзендердің ағын режимінің бұзылуы, теңіз деңгейінің ауытқуы және антропогендік қысымның күшеюі көптеген кәсіптік маңызы бар балық түрлерінің таралуына, көбеюіне және қоректік базасына ықпал етеді. Осындай жағдайларда Каспий теңізінің балық қорларын тұрақты пайдалану үшін олардың популяциялық құрылымы мен биологиялық ерекшеліктерін жүйелі түрде зерттеу ерекше маңызға ие.

Қаракөз (*Rutilus caspicus*) тұқытәрізділер тұқымдасына жататын жартылай өткінші балық түрі болып табылады. Бұл түр Каспий теңізінің барлық бөліктерінде кездеседі және кәсіптік аулауда маңызды орын алады. Қаракөздің негізгі қоректену аймағы теңіздің таяз жағалау бөліктері болып саналса, көбею кезеңінде ол өзендердің сағалық және жайылмалық аймақтарына өрістейді. Түрдің тіршілік циклі теңіз және тұщы су экожүйелерімен тығыз байланысты болғандықтан, гидрологиялық жағдайлардың өзгеруіне өте сезімтал келеді.

Каспий бассейніндегі көптеген зерттеулер қаракөз қорының соңғы онжылдықтарда бірқатар өзгерістерге ұшырағанын көрсетеді. Әсіресе өзендердің табиғи ағынының азаюы, су деңгейінің төмендеуі және уылдырық шашу орындарының қысқаруы табиғи толықтыру қарқындылығына әсер етуде. Сонымен қатар, балық аулау қарқындылығының артуы популяциядағы ірі және жасы үлкен дарақтардың үлесінің төмендеуіне алып келуі мүмкін. Мұндай өзгерістер ұзақ мерзімді перспективада популяцияның тұрақтылығына әсер ететін негізгі факторлардың қатарына жатады.

Балық популяцияларының қазіргі жағдайын бағалауда морфометриялық көрсеткіштер ерекше орын алады. Ұзындық пен салмақ көрсеткіштері балықтардың өсу қарқынын, физиологиялық жағдайын және қоректік базамен қамтамасыз етілу деңгейін сипаттайтын негізгі индикаторлар болып табылады. Әлемдік ихтиологиялық тәжірибеде ұзындық-салмақ арақатынасы балықтардың өсу заңдылықтарын анықтау үшін кеңінен қолданылады. Бұл көрсеткіштер популяцияның экологиялық жағдайын бағалауға және әртүрлі аймақтардағы түрлердің биологиялық ерекшеліктерін салыстыруға мүмкіндік береді.

Қондылық коэффициенттері де балықтардың физиологиялық жағдайын бағалаудың маңызды құралдарының бірі болып саналады. Фультон және Кларк коэффициенттері дарақтардың қоректену деңгейін, энергия қорының жиналуын және тіршілік ортасының қолайлылығын жанама түрде сипаттайды. Қондылық көрсеткіштерінің жоғары болуы қорек қорының жеткілікті екенін және балықтардың экологиялық жағдайының қолайлы екенін көрсетсе, олардың төмендеуі қоректік ресурстар тапшылығы немесе қоршаған орта жағдайының нашарлауымен байланысты болуы мүмкін.

Популяцияның жас және жыныстық құрылымы балық қорларының тұрақтылығын бағалауда маңызды рөл атқарады. Әсіресе жас дарақтардың үлесі табиғи толықтыру қарқындылығын сипаттайтын негізгі көрсеткіштердің бірі болып табылады. Егер популяция құрамында жас балықтар басым болса, онда табиғи көбею процесі белсенді жүріп жатыр деп бағаланады. Ал ересек дарақтардың азаюы кәсіптік аулау қысымының немесе қолайсыз экологиялық жағдайлардың салдары болуы мүмкін.

Қоректену белсенділігін зерттеу де популяцияның экологиялық жағдайын түсінуге мүмкіндік береді. Қоректік базаның жеткіліктілігі балықтардың өсуіне, қондылығына және көбею қабілетіне тікелей әсер етеді. Сондықтан ішек толымдылығын зерттеу арқылы балықтардың қоректену қарқындылығы мен табиғи азықтық ресурстардың жағдайын жанама бағалауға болады.

Осыған байланысты Каспий теңізінің солтүстік бөлігіндегі қаракөз популяциясының қазіргі биологиялық жағдайын бағалау ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті болып табылады. Мұндай зерттеулер түрдің популяциялық құрылымындағы өзгерістерді анықтауға, оның экологиялық жағдайын бағалауға және балық ресурстарын ұтымды пайдалану мен қорғау бойынша ғылыми негізделген ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты – Каспий теңізінің солтүстік бөлігіндегі қаракөз популяциясының қазіргі биологиялық жағдайын, морфометриялық көрсеткіштерін, жас-жыныстық құрылымын және қоректену ерекшеліктерін бағалау.

Зерттеу міндеттері:

- морфометриялық және салмақтық көрсеткіштерін анықтау;
- қондылық коэффициенттерін бағалау;
- популяцияның жас және жыныстық құрылымын зерттеу;
- қоректену белсенділігін талдау.

Зерттеу материалдары мен әдістері.

Зерттеу жұмыстары 2025 жылдың маусым айында Каспий теңізінің солтүстік бөлігінде орналасқан 10 ғылыми-зерттеу станциясында жүргізілді. Зерттеу ауданы Солтүстік Каспийдің әртүрлі гидрологиялық және экологиялық жағдайларымен ерекшеленетін аймақтарын қамтыды. Балық үлгілері Баутино, Құлалы аралы, Қаражанбас, Прорва, СКТК, Қашаған-1, Қашаған-2, Шалығы аралы, Жайық және Қиғаш өзендерінің сағалары маңындағы бекітілген станциялардан жиналды (Кесте 1). Зерттеу барысында жалпы саны 442 дана қаракөз балығы ауланды. Балықтарды аулау үшін ұзындығы 25 м стандартты құрма аулар қолданылды. Аулардың көз өлшемдері 12 мм-ден 80 мм-ге дейін өзгеріп отырды, бұл әртүрлі өлшемдегі және жастағы дарақтарды қамтуға мүмкіндік берді. Аулар кешкі уақытта құрылып, теңізде орта есеппен 12 сағат бойы ұсталды. Таңертең ауланған балықтар іріктеліп, әрі қарай зертханалық өңдеуге жеткізілді. Әрбір дараққа толық биологиялық талдау жүргізілді. Морфометриялық көрсеткіштерді анықтау кезінде балықтың жалпы ұзындығы (L), құйрық қанатынсыз ұзындығы (l), толық салмағы (Q) және ішкі мүшелерін алып тастағаннан кейінгі салмағы (q) өлшенді. Ұзындық көрсеткіштері миллиметр дәлдігімен ихтиологиялық өлшеу тақтасы арқылы анықталды, ал салмақ электронды таразы көмегімен 0,1 г дәлдікпен өлшенді.

Балықтардың жынысы гонадаларды макроскопиялық зерттеу арқылы анықталды. Аталық және аналық дарақтардың арақатынасы есептеліп, популяцияның жыныстық құрылымы бағаланды. Жас құрылымын анықтау үшін әрбір дарақтан қабыршақ үлгілері алынып, зертханалық жағдайда микроскоп арқылы зерттелді. Жас мөлшері Чугунова (1952) әдістемесіне сәйкес қабыршақтағы жылдық сақиналарды санау арқылы анықталды. [Чугунова 1952: 115]. Балықтардың жасын зертханалық жағдайда қабыршақтары арқылы анықталды. Ихтиологиялық материалды жинау және өңдеу ихтиологияда жалпы қабылданған әдістер бойынша жүргізілді [Правдин 1966: 376; Кушнаренко, 2003: 180]. Балықтардың физиологиялық жағдайының маңызды көрсеткіштерінің бірі ретінде Фультон және Кларк қондылық коэффициенттері анықталды.

Фультон қондылық коэффициентінің формуласы:

$$K = \frac{Q \times 100}{L^3} \quad (1)$$

мұндағы:

K – Фультон қондылық коэффициенті

Q – балықтың толық салмағы (г)

L – балықтың жалпы ұзындығы (см)

Кларк қондылық коэффициентінің формуласы:

$$K = \frac{q \times 100}{l^3} \quad (2)$$

мұндағы:

K – Кларк коэффициенті

q – балықтың ішкі мүшелерінсіз (тазаланған) салмағы (г)

l – балықтың құйрық қанатынсыз ұзындығы (см немесе мм)

Ұзындық пен салмақ арасындағы тәуелділікті анықтау үшін ұзындық–салмақ арақатынасы классикалық $W = aL^b$ теңдеуі бойынша есептелді, мұндағы W – салмақ, L – ұзындық, a және b – регрессиялық коэффициенттер. Өсу типі b коэффициентінің мәніне сәйкес бағаланды: $b=3$ болған жағдайда изометриялық өсу, $b>3$ болған жағдайда оң аллометриялық өсу, ал $b<3$ болған жағдайда теріс аллометриялық өсу деп қабылданды.

Қоректену белсенділігін бағалау үшін балықтардың ішек толымдылығы Н.В. Лебедевтің әдістемесі бойынша 6 балдық шкаламен анықталды. Бағалау кезінде ішектің қорекпен толу дәрежесі визуалды түрде зерттеліп, 0-ден 5 балға дейінгі көрсеткіштер тіркелді. Бұл әдіс зерттелетін популяцияның қоректену қарқындылығы мен азықтық жағдайын сипаттауға мүмкіндік береді.

Алынған деректерді статистикалық өңдеу IBM SPSS Statistics 21 және Microsoft Excel бағдарламалары көмегімен жүргізілді. Әрбір көрсеткіш үшін орташа арифметикалық мән (М), стандарттық ауытқу (SD), орташа қателік (m), вариация коэффициенті (Cv) есептелді. Ұзындық пен салмақ арасындағы байланысты бағалау үшін корреляциялық және регрессиялық талдау қолданылды. Модельдің сенімділігі детерминация коэффициенті (R^2) арқылы бағаланды. Барлық статистикалық айырмашылықтар $p < 0,05$ деңгейінде мәнді деп қабылданды. Деректерді статистикалық өңдеу Г.Ф. Лакин әдістемесіне [Лакин, 1990: 352] сәйкес және IBM SPSS Statistics 21, Excel компьютерлік бағдарламасы арқылы жүргізілді.

Кесте 1 – Каспий теңізіндегі ғылыми зерттеу жүргізілген станциялардың координаттары

№	Станция атауы	Ауланған балықтар саны	Координаттары	
			Ендік	Бойлық
1	Баутино	14	44°35'14.27"С;	50°14'36.22»В
2	Құлалы аралы	92	44°45'11.6"С;	050°15'27.2"В
3	Қаражанбас	21	45°29'29.80"С;	51°26'0.87"В
4	Прорва	17	45°49'42.61"С;	52°22'5.51"В
5	СКТК	51	46° 2'48.80"С;	52°10'51.50»В
6	Қашаған-1	42	46°15'26.26"С;	52° 3'18.69»В
7	Қашаған-2	18	46°33'7.02"С;	51°55'45.68»В
8	Шалыги аралы	11	46°34'53.90"С;	51°30'14.00»В
9	Жайық сағасы	85	46°47'58.10"С;	51°22'41.77»В
10	Қиғаш сағасы	91	46°19'57.86"С;	50° 6'54.20»В

Зерттеу нәтижелері.

Каспий теңізінің белгіленген орындарынан жалпы саны 442 қаракөз балықтары ауланды (Сурет 1). Зерттеу нәтижелері бойынша жүргізілген морфометриялық және салмақтық көрсеткіштердің талдауы олардың өлшемдері мен қондылық деңгейінің айтарлықтай өзгермелі екенін көрсетеді.



Сур. 1. Каспий қаракөзі
[Fig. 1. Caspian black-eyed fish]

Балықтардың жалпы ұзындығы (L) 124 мм-ден 280 мм-ге дейін ауытқып, орташа мәні $170,7 \pm 29,7$ мм құрады. Вариациялық коэффициенттің 17,0 % болуы популяцияда ұзындық бойынша орташа деңгейдегі өзгергіштік бар екенін көрсетеді. Құйрық қанатынсыз ұзындығы (l) 102–230 мм аралығында өзгеріп, орташа $140,9 \pm 25,6$ мм болды, ал вариациялық коэффициенті 18,0 % шамасында, яғни бұл белгі де салыстырмалы түрде тұрақты, бірақ белгілі бір дәрежеде өзгергіштік байқалады (кесте 2).

Балықтардың салмағы (Q) әр түрлі жастық топтарды құрағандықтан айтарлықтай кең диапозонда – 15 г-нан 245 г-ға дейін өзгерді. Орташа салмағы $51,9 \pm 35,6$ г құрады. Вариациялық коэффициенттің жоғары мәні (68,6 %) бұл көрсеткіштің өте құбылмалы екенін, яғни популяцияда әртүрлі жас және қоректену деңгейіндегі дарақтар бар екенін білдіреді. Ұқсас жағдай ішкі құрылысынсыз салмақта (q) да

байқалады: 12–220 г аралығында өзгеріп, орташа мәні $47,7 \pm 32,4$ г, вариация коэффициенті 67,9 %. Бұл да салмақ көрсеткіштерінің тұрақсыздығын дәлелдейді.

Кесте 2 – Каспий қаракөзі балығының биологиялық көрсеткіштері, $n=442$

Белгілері	min-max	$M \pm m$	C_v
L, mm	124-280	$170,7 \pm 29,7$	17,0
l, mm	102-230	$140,9 \pm 25,6$	18,0
Q, gr	15-245	$51,9 \pm 35,6$	68,6
q, gr	12-220	$47,7 \pm 32,4$	67,9
Fulton	1,0-2,3	$1,7 \pm 0,19$	11,2
Klark	0,8-2,1	$1,5 \pm 0,18$	12,0

Ескерту: L, mm – балықтың ұзындығы, l, mm – балықтың құйрық қанатынсыз ұзындығы, Q, gr – балықтың салмағы, q, gr – балықтың ішкі құрылысынсыз салмағы, Fulton – толық қондылық коэффициенті, Klark – кіші қондылық коэффициенті, min – балықтың ең кіші өлшемі, max – балықтың ең үлкен өлшемі, M – орташа мәні, m – стандартты ауытқу, C_v – вариациялық коэффициент.

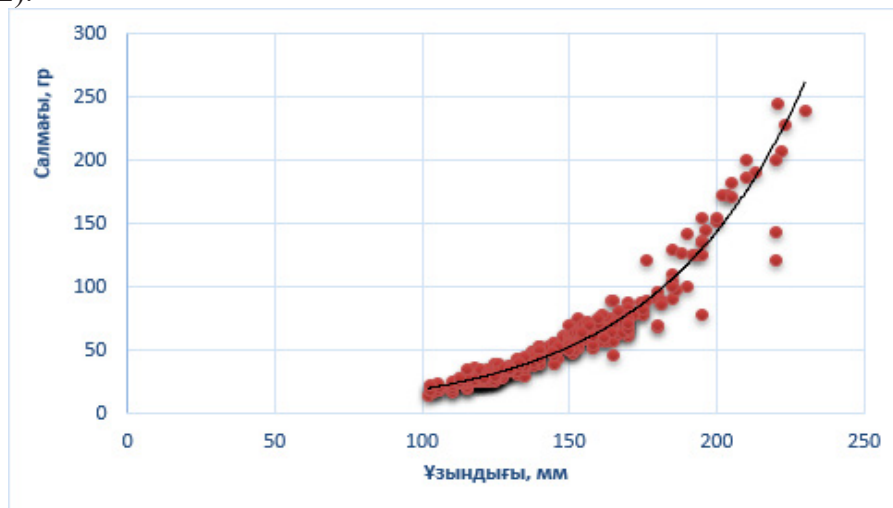
Қондылық коэффициенттері бойынша талдау балықтардың қоректік жағдайының салыстырмалы түрде жақсы екенін көрсетті. Фультон коэффициенті 1,0–2,3 аралығында өзгеріп, орташа $1,7 \pm 0,19$ болды. Вариациялық коэффициенттің төмендігі (11,2 %) бұл көрсеткіштің тұрақты екенін көрсетеді. Сол сияқты Кларк коэффициенті 0,8–2,1 аралығында, орташа $1,5 \pm 0,18$ мәнімен сипатталады, вариациялық коэффициенті 12,0 %, яғни бұл да салыстырмалы тұрақты көрсеткіш.

Статистикалық талдау кезінде орташа мән (M), орташа қателік (m), вариация коэффициенті (C_v) есептелді. Ұзындық пен салмақ арасындағы байланыс корреляциялық-регрессиялық талдау арқылы бағаланды. Айырмашылықтар $p < 0,05$ мәнділік деңгейінде қарастырылды.

Зерттелген балықтар популяциясында ұзындық көрсеткіштері бойынша орташа өзгергіштік байқалса, салмақ көрсеткіштері бойынша жоғары өзгергіштік анықталды. Ал қондылық коэффициенттері салыстырмалы түрде тұрақты болып, балықтардың қоректену жағдайы мен физиологиялық күйінің бірқалыпты екенін көрсетеді.

Қаракөз балығының салмағы оның ұзындығына тәуелді және бұл тәуелділік экспоненциалдық сипатқа ие болып, үлгілер арасында белгілі бір тұрақтылық пен заңдылық байқалады. Нүктелер жеке балықтардың ұзындығы мен салмағын бейнелейді, ал қара сызық оларға сәйкес келетін экспоненциалдық регрессияның тренд сызығы.

Ұзындық–салмақ арақатынасы $W = aL^b$ теңдеуі бойынша анықталды. Зерттеу нәтижесінде теңдеу параметрлері $W = 0,00001787L^{2,985}$ болып есептелді. Детерминация коэффициенті жоғары мән көрсетті ($R^2 = 0,951$), бұл ұзындық пен салмақ арасындағы тығыз байланысты дәлелдейді. Алынған $b = 2,985$ мәні 3-тен сәл төмен болғандықтан, зерттелген балықтарда теріс аллометриялық өсу байқалды. Бұл балықтардың ұзындық бойынша өсу қарқыны салмақ қосу қарқынынан біршама жоғары екенін көрсетеді. (сурет 2).



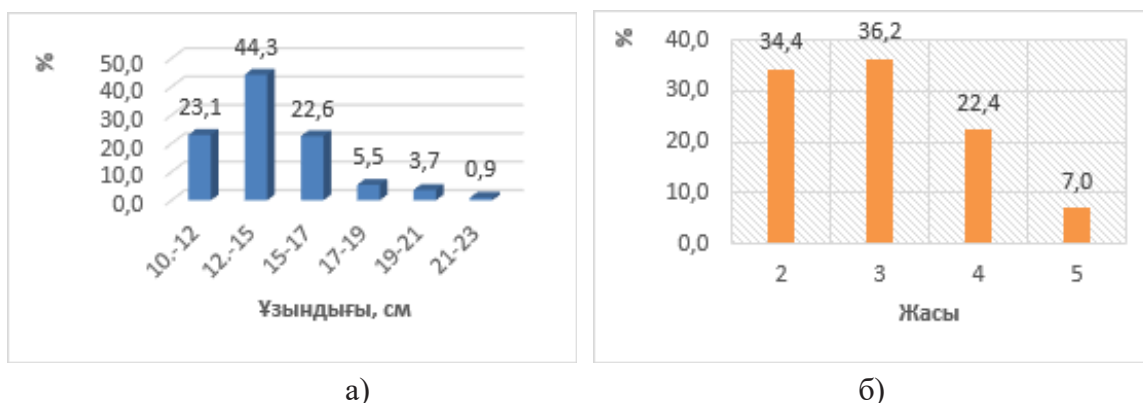
Сур. 2. Қаракөздің ұзындық және салмақтық өсу көрсеткіші
[Fig.2. Length and weight growth of black-eyed fish]

Корреляция коэффициентінің ($R^2=0,95$) жоғары мәні бұл модельдің деректерді өте жақсы сипаттайтынын білдіреді, яғни ұзындық пен салмақ арасындағы тәуелділік сенімді әрі күшті.

Қаракөздің ұзындығының ең көп таралған мәні – 12–15 см, бұл үлестердің 44,3 %-ын құрайды. Бұл ұзындықтағы балықтар популяцияда басым, яғни олардың көпшілігі осы өлшем аралығында. Сонымен қатар, 10–12 және 15–17 см ұзындықтағы балықтар үлесі 23,1 % және 22,6 % болып, жас топтарда балықтардың едәуір бөлігі кішкентай үлгілер екенін байқатады.

17 см және одан үлкен ұзындықтағы балықтардың үлесі айтарлықтай төмендеп, тиісінше 5,5 %, 3,7 % және 0,9 % құрайды. Бұл ересек және үлкен жастағы қаракөздердің саны аулауда аз кездесетінін білдіреді (сурет 3 а).

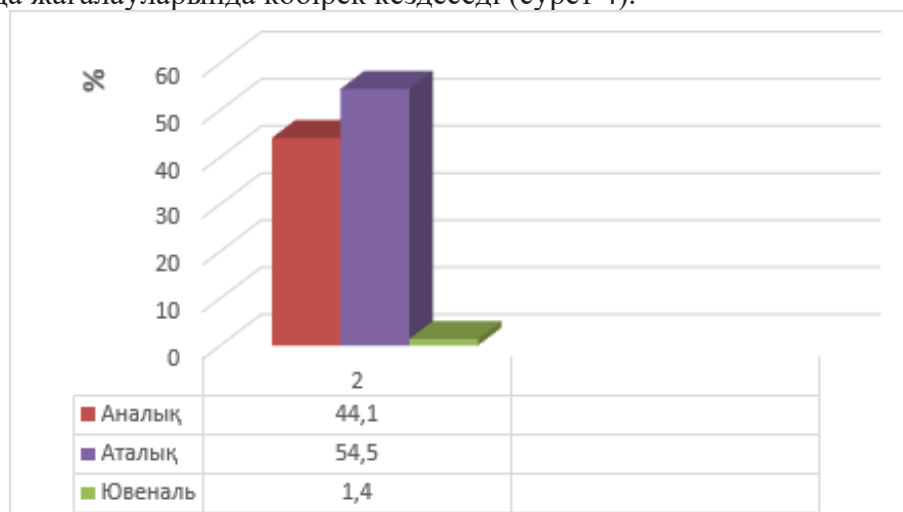
Қаракөз популяциясында жас топтар басым, ал ұзындығы 17 см және одан жоғары үлгілердің үлесі салыстырмалы түрде төмен, яғни үлкенірек, ересек балықтар саны аздау.



а) б)
Сур.3. Қаракөздің ұзындық және жастық топтарының үлесі, %
[Fig. 3. Percentage distribution of length and age groups of black-eyed fish]

3 (б) суретте қаракөз балығының түрлі жастық топтарына жататын үлестерінің пайыздық үлесін көрсетеді. 3 жастық балықтар ең көп үлесті алып, популяцияның 36,2 %-ын құрайды. 2 жастық балықтар да айтарлықтай үлеске ие – 34,4 %, бұл көрсеткіш жас топтардағы басымдылықты көрсетеді. 4 жастық балықтардың үлесі 22,4 % болып, орта жастағы топты сипаттайды. Ең кішкентай үлес 5 жастағы балықтарға тиесілі, олардың саны популяцияның тек 7 %-ын құрайды. Жалпы қаракөз популяциясында жас топтар басым, әсіресе 2 және 3 жасар балықтар көп, ал үлкенірек жас топтарының үлесі айтарлықтай төмен. Бұл өсу динамикасы мен табиғи өлім-жітім деңгейі туралы түсінік береді.

Популяцияда аталық дарақтардың үлесі жоғары болды, яғни олардың саны аналықтарға қарағанда шамамен 10%-ға артық. Аналық дарақтардың үлесі – 44,1 % құрады, бұл популяцияның көбею әлеуетінің жеткілікті деңгейде екенін көрсетеді. Ал ювенальді дарақтардың үлесі – 1,4 %, бұл жас балықтардың зерттеу кезінде олардың аз ұсталғанын білдіреді. Яғни жас шабақтары суайдындың орта бөлігіне қарағанда жағалауларында көбірек кездеседі (сурет 4).



Сур.4. Қаракөздің жыныстық топтарына байланысты ара қатынасы, %
[Fig. 4. Sex ratio of black-eyed fish, %.]

Балықтардың қоректенуіне байланысты ішектің толымдылығын анықтау дәрежесі қоректің визуалды мөлшерін көрсететін Н.В. Лебедев әдісі бойынша 6 балдық шкаламен (0-ден 5 — ке дейін) бағаланады.

Ішектің толымдылық шкаласы:

0 бал – ішек толығымен бос.

1 бал – қорек қалдықтары (аздаған қорек қалдықтары).

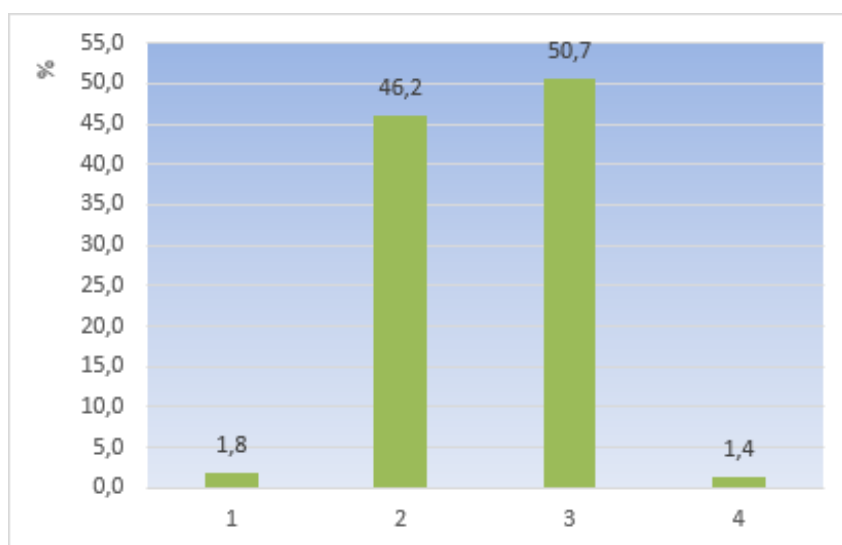
2 бал – әлсіз дәреже (қорек ішектің жартысынан азын алады).

3 бал – орташа дәреже (қорек ішектің жартысына жуығын алады).

4 бал – жоғары дәреже (ішек толығымен толтырылған, бірақ созылмайды).

5 бал – максималды дәреже (ішек толысуы қорек қатты созылады).

Қаракөз балығының қоректену белсенділігін бағалау мақсатында ішегінің толымдылығы балдық шкала бойынша анықталды. Зерттеу нәтижелері бойынша ішектің толу деңгейі әртүрлі дәрежеде байқалды.



Сур. 5. Қаракөз балығының қоректенуіне байланысты ішегінің толымдылық көрсеткіші, балдық шкаламен %
[Fig. 5. Percentage distribution of the gut fullness index of black-eyed fish in relation to feeding, based on a point scale]

5 суретте зерттелген балықтардағы ішектің толу дәрежесі бойынша (баллмен) пайызбен бөлінуін көрсетілген.

Ең жоғары үлесті 3 балл көрсеткіші құрап, ол 50,7 %-ды көрсетті. Бұл балықтардың басым бөлігінің ішегі орташа деңгейден жоғары толғанын, яғни қоректену белсенділігі жақсы екенін білдіреді. Сонымен қатар, 2 балл көрсеткіші де жоғары болып, 46,2 %-ды құрады, бұл да балықтардың едәуір бөлігінде қорек бар екенін көрсетеді, бірақ толымдылығы орташа деңгейде.

Ал ішегі толуға жақын толған балықтар (4 балл) өте аз кездесіп, олардың үлесі небәрі 1,4 % болды. Бұл қоректің шамадан тыс жиналуы сирек екенін көрсетеді. Ең төменгі көрсеткіш — 1 балл (1,8 %), яғни ішегі өте аз толған немесе әлсіз қоректенген дарақтар саны аз.

Жалпы қаракөз балығының популяциясында 2–3 баллдық көрсеткіштер басым болды. Бұл дегеніміз олардың қоректену жағдайы қанағаттанарлық және тұрақты екенін, табиғи қорек қоры жеткілікті деңгейде екенін көрсетеді.

Талқылау.

Каспий теңізінің солтүстік бөлігіндегі қаракөз популяциясына жүргізілген зерттеу нәтижелері бұл түрдің қазіргі биологиялық жағдайын сипаттауға және алынған деректерді халықаралық ғылыми әдебиеттерде келтірілген мәліметтермен салыстыруға мүмкіндік берді. Зерттеу барысында анықталған морфометриялық көрсеткіштер, қондылық коэффициенттері, жас құрылымы және қоректену белсенділігі популяцияның экологиялық жағдайын кешенді бағалауға негіз болды.

Зерттелген популяциядағы ұзындық-салмақ көрсеткіштерінің қалыптасуына су айдынының гидрологиялық режимі де айтарлықтай әсер етеді. Каспий теңізінің солтүстік және солтүстік-шығыс бөліктері өзен ағындарының ықпалында болатындықтан, судың минералдануы, температуралық режимі және қоректік заттардың мөлшері маусым бойынша өзгеріп отырады. Бұл жағдайлар зоопланктон мен бентос организмдерінің өнімділігіне тікелей әсер етіп, қаракөз балығының өсу

қарқыны мен қондылық көрсеткіштерінің қалыптасуын анықтайды. Зерттеу барысында анықталған жоғары қондылық коэффициенттері қоректік базаның жеткілікті деңгейде болғанын және дарақтардың қолайлы экологиялық жағдайда дамығанын көрсетеді.

Қоректену белсенділігінің жоғары болуы зерттеу кезеңіндегі гидробиологиялық жағдайлардың қолайлылығымен түсіндіріледі. Су температурасының оптималды деңгейде болуы және табиғи азықтық организмдердің жеткілікті мөлшерде дамуы қаракөз балығының белсенді қоректенуіне мүмкіндік берген. Сондықтан ішек толымдылығының 2–3 балл деңгейінде басым болуы популяцияның физиологиялық жағдайының жақсы екенін және зерттеу жүргізілген кезеңде қоректік ресурстар тапшылығы байқалмағанын көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, қаракөз балығының ұзындық ($C_v=17-18\%$) және салмақ ($C_v=68\%$) көрсеткіштері арасындағы айырмашылық басқа да тұқытекес балықтарға тән заңдылықтармен сәйкес келеді. Мысалы, көптеген авторлар [Froese, 2006: 241–253; Motasim, 2015; Le Cren. 1951: 201–219] балықтардың ұзындық көрсеткіштері салыстырмалы тұрақты, ал салмақ көрсеткіштері жоғары өзгергіштікке ие болатынын көрсеткен. Бұл, ең алдымен, қоректену жағдайы, жас құрылымы және маусымдық факторлардың әсерімен түсіндіріледі. Біздің зерттеулерімізде де салмақтың жоғары вариация коэффициенті популяциядағы дарақтардың әртүрлі жас топтарына жататынын және қоректік базаға тәуелді екенін дәлелдейді. Ұқсас нәтижелер көптеген ихтиологиялық зерттеулерде келтірілген. Froese балықтардың ұзындық көрсеткіштері әдетте тұрақтырақ болатындығын, ал салмақ көрсеткіштері қоректену жағдайына, маусымдық өзгерістерге және дарақтардың физиологиялық күйіне байланысты жоғары өзгергіштікке ие болатынын көрсеткен. Le Cren алабұға популяцияларын зерттеу барысында да салмақ көрсеткіштері ұзындыққа қарағанда анағұрлым жоғары вариациямен сипатталатынын анықтаған. Біздің нәтижелер осы заңдылықтарға толық сәйкес келеді және Каспий қаракөзі популяциясында әртүрлі жастағы және әртүрлі қоректік жағдайда болатын дарақтардың кездесетінін көрсетеді.

Зерттеу барысында алынған ұзындық-салмақ арақатынасы теңдеуінің нәтижелері де халықаралық әдебиеттердегі мәліметтермен үндеседі. Біздің зерттеуде алынған $b=2,985$ мәні изометриялық өсу көрсеткішіне өте жақын болғанымен, теріс аллометриялық өсу типіне сәйкес келеді. Froese (2006) жүргізген метаталдау нәтижелері бойынша көптеген тұқы тұқымдас балықтар үшін b коэффициентінің мәні әдетте 2,5 пен 3,5 аралығында болады. Сондықтан алынған көрсеткіш түр үшін қалыпты биологиялық шектерде орналасқан. Сонымен қатар Motasim және әріптестері (2015) зерттеген *Valamugil seheli* түрінде де b коэффициентінің 3-тен төмен мәндері анықталған, бұл белгілі бір экологиялық жағдайларда ұзындықтың салмаққа қарағанда жылдамырақ өсетіндігін көрсетеді.

Ұзындық пен салмақ арасындағы тәуелділіктің экспоненциалды сипатта болуы ($R^2 = 0,95$) халықаралық зерттеулердегі аллометриялық өсу заңдылықтарымен толық сәйкес келеді. [Froese, 2006:] өз еңбегінде балықтардың көпшілігінде салмақ пен ұзындық арасындағы байланыс $W = aL^b$ теңдеуімен сипатталатынын және $b>3$ болған жағдайда оң аллометриялық өсу байқалатынын көрсеткен. Біздің жағдайда да ұзындықтың артуымен салмақтың қарқынды өсуі осы заңдылықты растайды.

Қондылық коэффициенттері бойынша алынған нәтижелер де халықаралық әдебиеттердегі мәліметтермен салыстырғанда қолайлы деңгейде болды. Зерттелген дарақтар үшін Фультон коэффициентінің орташа мәні 1,7, ал Кларк коэффициенті 1,5 болды. Бұл көрсеткіштер популяциядағы дарақтардың энергетикалық қоры жеткілікті екенін көрсетеді. Bashar және әріптестері (2021) жүргізген зерттеулерде қондылық коэффициенттерінің төмен вариациясы қоректік жағдайдың тұрақтылығымен және қоршаған ортаның қолайлылығымен байланысты екендігі көрсетілген. Біздің зерттеуімізде де коэффициенттердің вариация деңгейі төмен болғандықтан, Каспий теңізінің зерттелген бөлігінде қаракөз үшін қоректік жағдайлардың қолайлы екендігі байқалады.

Қондылық көрсеткіштері тек қоректік базаның жағдайын ғана емес, сонымен қатар балықтардың жалпы физиологиялық күйін де сипаттайды. Солтүстік Каспий аймағында жүргізілген алдыңғы зерттеулерде де қаракөздің қондылық көрсеткіштері салыстырмалы түрде жоғары деңгейде болғаны көрсетілген. Бұл аймақтағы бентос организмдерінің және басқа азықтық нысандардың жеткілікті таралуымен түсіндіріледі. Сонымен бірге, қондылық коэффициенттерінің тұрақтылығы зерттеу кезеңінде қолайсыз экологиялық факторлардың әсері айқын байқалмағанын көрсетеді. Қондылық коэффициенттері (Fulton және Clark) бойынша алынған нәтижелер ($C_v=11-12\%$) олардың тұрақтылығын көрсетеді және бұл көрсеткіштер балықтардың қоректік

жағдайының жақсы екенін білдіреді. Ұқсас нәтижелер басқа зерттеулерде де кездеседі, мысалы, еңбектерінде қондылық коэффициентінің төмен вариациясы тұрақты қоректік жағдай мен қолайлы экологиялық ортаны көрсететіні атап өтілген.

Популяцияның ұзындық және жас құрылымына келетін болсақ, 12–15 см өлшемдегі және 2–3 жастағы дарақтардың басым болуы көптеген су айдындарындағы табиғи популяцияларға тән құбылыс. Басқа да зерттеулерде [Britton et al, 2007: 135–138; Nikolsky, 1963: 368] жас дарақтардың популяцияда басым болуы популяцияның тұрақты жаңарып отыратынын, бірақ ірі дарақтардың аз болуы балық аулау қысымымен немесе табиғи өлім-жітіммен байланысты екенін көрсетеді. Сіздің деректеріңізде де ірі және ересек балықтардың үлесінің төмен болуы осы факторлардың әсерін меңзейді. Популяцияның жас құрылымын талдау барысында 2–3 жастағы дарақтардың басым екендігі анықталды. Бұл көрсеткіштер табиғи толықтыру процесінің белсенді жүріп жатқанын білдіреді. Nikolsky (1963) табиғи популяцияларда жас дарақтардың басым болуы тұрақты көбею процесінің маңызды көрсеткіші екенін атап көрсеткен. Britton және әріптестері (2007) де көптеген балық түрлерінде жас топтардың басымдығы популяцияның қалыпты демографиялық құрылымын көрсететінін анықтаған. Сонымен қатар зерттелген популяцияда ірі және жасы үлкен дарақтардың үлесі төмен болды. Мұндай жағдай Солтүстік Каспийдегі басқа зерттеулерде де байқалған. Көптеген авторлардың пікірінше, бұл құбылыс табиғи өлім-жітіммен қатар кәсіптік аулау қарқындылығының әсерімен түсіндіріледі. Ересек дарақтардың азаюы ұзақ мерзімді перспективада популяция құрылымына әсер етуі мүмкін болғандықтан, олардың үлесін тұрақты бақылау маңызды болып табылады.

Жыныстық құрылым бойынша аталықтардың басымдығы (шамамен +10 %) кейбір тұқы балықтарына үшін тән құбылыс болып табылады және бұл да экологиялық жағдайларға, уылдырық шашу кезеңіне немесе іріктемелік аулауға байланысты болуы мүмкін. Сонымен қатар, ювенальді дарақтардың аз болуы олардың негізінен жағалаулық аймақтарда шоғырлануымен түсіндіріледі, бұл да әдеби деректермен сәйкес келеді. Жыныстық құрылымды зерттеу нәтижелері аталық дарақтардың аздап басым екенін көрсетті. Осындай жағдай тұқы тұқымдасының басқа өкілдерінде де кездеседі. Әдеби деректер бойынша жыныстық қатынастың өзгеруі қоршаған ортаның жағдайына, көбею кезеңінің ерекшеліктеріне және зерттеу жүргізілген маусымға байланысты болуы мүмкін. Біздің зерттеулерімізде аналық дарақтардың үлесі жеткілікті деңгейде сақталған, бұл популяцияның көбею әлеуетінің төмендемегенін көрсетеді.

Қоректену белсенділігіне жүргізілген талдау нәтижесінде дарақтардың басым бөлігінде ішек толымдылығының 2–3 балдық көрсеткіштері анықталды. Лебедев (1959) әдістемесі бойынша мұндай көрсеткіштер балықтардың қалыпты және белсенді қоректену жағдайын сипаттайды. Dautbayeva және әріптестері (2017) Солтүстік Каспийдегі балықтардың трофикалық байланыстарын зерттеу барысында қаракөздің қоректену белсенділігі қоректік организмдердің маусымдық өзгерістеріне тәуелді екенін көрсеткен. Біздің зерттеу жүргізілген кезеңде ішек толымдылығының жоғары болуы табиғи азықтық ресурстардың жеткілікті деңгейде болғанын дәлелдейді.

Қоректену белсенділігіне қатысты ішек толымдылығының 2–3 балл деңгейінде басым болуы ($\approx 97\%$) балықтардың белсенді қоректену фазасында екенін көрсетеді. [Лебедев, 1959] әдісі бойынша жүргізілген ұқсас зерттеулерде де табиғи жағдайда қорек жеткілікті болғанда балықтардың басым бөлігі орташа және жоғары толымдылық деңгейінде болатыны көрсетілген.

Қазіргі уақытта Каспий теңізі экожүйесі климаттық және антропогендік факторлардың ықпалында қалып отыр. Теңіз деңгейінің өзгеруі, өзендердің ағын көлемінің азаюы және жағалаулық экожүйелердің трансформациясы көптеген балық түрлерінің таралуына әсер етеді. Соған қарамастан, зерттелген қаракөз популяциясының негізгі биологиялық көрсеткіштері оның қазіргі уақытта экологиялық жағдайларға жақсы бейімделгендігін көрсетеді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер халықаралық зерттеулерде сипатталған заңдылықтармен сәйкес келеді және Каспий қаракөзі популяциясының қазіргі жағдайын сенімді бағалауға мүмкіндік береді. Ұзындық-салмақ арақатынасының жоғары деңгейде болуы, қондылық коэффициенттерінің тұрақтылығы, жас дарақтардың басымдығы және қоректену белсенділігінің жоғары болуы популяцияның қанағаттанарлық биологиялық жағдайын көрсетеді. Сонымен бірге Каспий теңізіндегі экологиялық өзгерістерді ескере отырып, қаракөз популяциясына ұзақ мерзімді мониторинг жүргізу және оның биологиялық көрсеткіштерін тұрақты бақылау болашақта ерекше маңызды болып қала береді. Зерттеу нәтижелерін Солтүстік Каспий аймағында жүргізілген басқа жұмыстармен салыстыру

қаракөз популяциясының негізгі биологиялық көрсеткіштері өңірлік заңдылықтарға сәйкес келетінін көрсетті. Ұзындық пен салмақ арасындағы жоғары корреляциялық байланыс популяциядағы өсу процесінің тұрақты жүретінін және қоректік ресурстардың жеткілікті деңгейде екенін көрсетеді.

Қазіргі кезеңде Каспий теңізінде байқалып отырған гидрологиялық өзгерістер балықтардың таралуына, көші-қонына және қоректену ерекшеліктеріне әсер етеді. Теңіз деңгейінің төмендеуі жағалаулық экожүйелердің өзгеруіне алып келіп, көптеген гидробионттардың таралу аймақтарына ықпал етеді. Осындай жағдайларда қаракөздің жоғары қондылық көрсеткіштері оның экологиялық бейімделу қабілетінің жеткілікті екенін көрсетеді.

Популяция құрамында жас дарақтардың басым болуы табиғи толықтыру процесінің жалғасып жатқанын білдіреді. Сонымен бірге ересек дарақтардың салыстырмалы түрде аз болуы кәсіптік аулау қысымымен, табиғи өлім-жітіммен және экологиялық факторлармен байланысты болуы мүмкін. Бұл жағдай болашақта популяцияның жас құрылымын тұрақты мониторингтеудің қажеттілігін көрсетеді.

Қоректену белсенділігінің жоғары болуы қаракөздің зерттеу кезеңінде табиғи қорекпен жақсы қамтамасыз етілгенін дәлелдейді. Бентос организмдері мен басқа азықтық нысандардың жеткілікті болуы дарақтардың жақсы физиологиялық жағдайын қамтамасыз етеді. Сондықтан азықтық базаның динамикасын бақылау қаракөз қорының болашақтағы жағдайын болжауда маңызды рөл атқарады.

Алынған нәтижелер Каспий теңізінің қазақстандық секторындағы қаракөз ресурстарын басқару жүйесін жетілдіру үшін маңызды ғылыми ақпарат болып табылады. Болашақ зерттеулерде көпжылдық мониторинг жүргізіп, гидрологиялық және климаттық факторлардың популяция динамикасына әсерін бағалау ұсынылады.

Қорытынды.

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Каспий теңізінің солтүстік бөлігіндегі қаракөз (*Rutilus caspicus*) популяциясының қазіргі биологиялық жағдайына кешенді баға берілді. Зерттеу барысында ауланған 442 дарақтың морфометриялық, популяциялық және трофикалық көрсеткіштері анықталып, олардың өсу ерекшеліктері, жас-жыныстық құрылымы және қоректену белсенділігі жан-жақты талданды.

Морфометриялық көрсеткіштерді зерттеу нәтижесінде қаракөз балығының жалпы ұзындығы 124–280 мм, ал салмағы 15–245 г аралығында өзгертіні анықталды. Ұзындық көрсеткіштері бойынша вариация деңгейі салыстырмалы түрде төмен болғанымен, салмақ көрсеткіштері жоғары өзгергіштікпен сипатталды. Бұл популяция құрамында әртүрлі жас және мөлшерлік топтарға жататын дарақтардың болуымен, сондай-ақ қоректену жағдайларының ерекшеліктерімен түсіндіріледі.

Ұзындық пен салмақ арасындағы тәуелділік жоғары деңгейде екендігі анықталды. Ұзындық–салмақ арақатынасы бойынша есептелген $W = aL^b$ теңдеуі зерттелген популяция үшін жоғары сенімділік көрсетті ($R^2 = 0,951$). Алынған $b = 2,985$ көрсеткіші қаракөз балығында теріс аллометриялық өсу байқалатынын көрсетті. Бұл зерттеу кезеңінде балықтардың ұзындық бойынша өсу қарқынының салмақ қосу қарқынынан біршама жоғары болғанын білдіреді.

Фультон және Кларк қондылық коэффициенттерінің орташа мәндері зерттелген дарақтардың физиологиялық жағдайының жақсы екенін көрсетті. Қондылық көрсеткіштерінің вариация коэффициенттерінің төмен болуы популяциядағы дарақтардың қоректік жағдайының салыстырмалы түрде тұрақты екендігін және олардың тіршілік ортасының қолайлы болғанын дәлелдейді. Бұл зерттеу жүргізілген кезеңде табиғи азықтық базаның жеткілікті деңгейде болғанын көрсетеді.

Популяцияның жас құрылымын талдау нәтижесінде 2–3 жастағы дарақтардың басым екендігі анықталды. Бұл табиғи толықтыру процесінің белсенді жүріп жатқанын және популяцияның жаңару қабілетінің сақталғанын көрсетеді. Сонымен қатар, ірі және жасы үлкен дарақтардың үлесінің төмен болуы табиғи өлім-жітімнің, кәсіптік аулау қысымының немесе экологиялық факторлардың ықпалымен байланысты болуы мүмкін. Жыныстық құрылым бойынша аталық дарақтардың үлесі аналықтарға қарағанда жоғары болды, алайда аналықтардың жеткілікті мөлшерде кездесуі популяцияның көбею әлеуетінің сақталғанын көрсетеді.

Қоректену белсенділігін бағалау нәтижесінде балықтардың басым бөлігінде ішек толымдылығының 2–3 балдық деңгейлері анықталды. Бұл қаракөздің зерттеу кезеңінде белсенді қоректенгенін және табиғи қорек ресурстарының жеткілікті болғанын дәлелдейді. Қоректену көрсеткіштері популяцияның физиологиялық жағдайымен және қондылық коэффициенттерімен үйлесімді сипатта болды.

Жалпы алғанда, Каспий теңізінің солтүстік бөлігіндегі қаракөз популяциясының қазіргі жағдайы

қанағаттанарлық деңгейде деп бағаланды. Популяция табиғи көбею қабілетін сақтап отыр, коректік базамен жеткілікті қамтамасыз етілген және экологиялық жағдайларға жақсы бейімделген. Зерттеу нәтижелері Каспий теңізіндегі қаракөз ресурстарының жағдайын мониторингтеу, олардың қорларын ғылыми негізде бағалау және балық ресурстарын ұтымды пайдалану мен қорғау шараларын жетілдіру үшін маңызды ғылыми дереккөз болып табылады. Болашақта көпжылдық бақылаулар жүргізу арқылы популяция динамикасына климаттық және антропогендік факторлардың әсерін бағалау қажеттілігі сақталады.

ӘДЕБИЕТТЕР

- Баққожа Ж.М., Аблайсанова Г.М., Сансызбаев Е.Т., Исакова Г.О., Дүйсенбекова Г.Г. (2025). Қапшағай су қоймасындағы Каспий қаракөзі *Rutilus caspicus* (Yakovlev 1870) популяциясының морфологиялық белгілерін талдау. Ізденістер, нәтижелер. No4. (108). <https://doi.org/10.37884/4-2025/10>
- Ветгулина Т.А. (2017) Влияние факторов окружающей среды на формирование промысловых уловов плотвы обыкновенной (*Rutilus rutilus* CASPICUS) в Волго-Каспийском и Северо-Каспийском рыболовных районах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыболовство / Выпуск 4. 22–28 стр.
- Bashar A., Hasan N.A., Haque M.M., Rohani Md.F., Hossain Md.S. (2021). Effects of Dietary Silica Nanoparticle on Growth Performance, Protein Digestibility, Hematology, Digestive Morphology, and Muscle Composition of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. August 2021. *Frontiers in Marine Science*. 8:706179. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.706179>. DOI: 10.3389/fmars.2021.706179
- Britton J.R., & Davies G.D. (2007). Length–weight relationships and condition factors of some freshwater fishes in the River Teme // *UK. Journal of Applied Ichthyology*. 23(2). 135–138. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.00870.x>Digital Object Identifier (DOI)
- Иванов В.П. (2000). Биологические ресурсы Каспийского моря (монография). Описывает биологические ресурсы, включая рыб и их промышленное использование. — Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 83 с.
- Камелов С.М., Попов В.А. (2020). Биологические показатели и структура популяции рыб Северо-Восточного Каспия. Вестник рыбохозяйственной науки Казахстана. 2. 45–52.
- Кушнаренко А.И. (2003). Эколого-этологические основы количественного учета рыб Северного Каспия. — Астрахань: КаспНИРХ. — 2003. — 180 с.
- Лакин Г.Ф. (1990). Биометрия. — М.: Высшая школа. 352 с.
- Лебедев Н.В. (1959). Методы изучения питания рыб. — М.: Пищевая промышленность.
- Harkonen T., Jussi M., Baimukanov M., et al. (2008). Pup production and breeding distribution of the Caspian seal (*Phoca caspica*) in relation to human impacts // *Ambio*. Vol. 37(5). — Pp. 356–361. DOI:10.1579/07-R-345.1
- Никольский Г.В., (1963). Экология рыб. — М.: Высш. школа, 1963. — 368 с.
- Митрофанов В.П., Дукравец Г.М., Сидорова А.Ф., Солонинова Л.Н. (1987). Рыбы Казахстана: 2 том, Карповые. —А., 52–65 стр.
- Motasim A.M., Osman M.F., Sayed M.A., (2015). Length-Weight and Some Morphometric Relationships of *Valamugil seheli* from Sudanese Red Sea Coast // *Open Access Library Journal*. Vol.2. No.11. 10.4236/oalib.1101621Dautbayeva K.Z., Zhumagulova, A.K., Sagyndykova, G.M. (2017). Feeding ecology and trophic relationships of fish in the Northern Caspian Sea // *Journal of Ichthyology*. 57(3). 412–420.
- Salauat D., Shalgimbayeva S., Omarova Zh., Jumakhanova G. and Zhanysbay G. (2024). Current state of juvenile roach (*Rutilus rutilus caspicus*) BIO Web of Conferences 100. 04019. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410004019>
- Чугунова Н.И. (1952). Методики изучения возраста и роста рыб. — М.: Пищевая промышленность. 115 с.
- Правдин И.Ф. (1966). Руководство по изучению рыб. — М. Пищевая промышленность. 376 с
- Froese R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*. 22(4). 241–253.
- Le Cren, E.D. (1951). The length–weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*)// *Journal of Animal Ecology*. 20(2). 201–219.

REFERENCES

- Ali S.S., Salam, A., Azeem A., et al. (2000). Studies on the Effect of Seasonal Variations on Physical and Chemical Characteristics of Mixed Water from Rivers Ravi and Chenab at Union Site in Pakistan // *Journal of Research*. 2. 1–17.
- Britton J.R., & Davies G.D. (2007). Length–weight relationships and condition factors of some freshwater fishes in the River Teme // — UK. *Journal of Applied Ichthyology*. 23(2).135–138. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.00870.x>Digital Object Identifier (DOI)
- Bakkozha ZH.M., G.M. Ablajsanova, E.T. Sansyzbaev, G.O. Isakova, G.G. Dyjsenbekova (2025). Kapshagaj su koimasynyday Kaspii karakozi *Rutilus caspicus* (Yakovlev 1870) populyaciya synyn morfologiyalyk belgilerin taldaу // *Izdenister, natizheler*. No4. (108). <https://doi.org/10.37884/4-2025/10>
- CHugunova N.I. (1952). Metodiki izucheniya vozrasta i rosta ryb. — М.: Pishchevaya promyshlennost'. 115 p.
- Dautbayeva K.Z., Zhumagulova A.K., Sagyndykova G.M. (2017). Feeding ecology and trophic relationships of fish in the Northern Caspian Sea. *Journal of Ichthyology*. 57(3). Pp. 412–420.
- Froese R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*. 22(4). Pp. 241–253.
- Harkonen T., Jussi M., Baimukanov M., et al. (2008). Pup production and breeding distribution of the Caspian seal (*Phoca caspica*) in relation to human impacts // *Ambio*. Vol. 37(5). — Pp. 356–361. DOI: 10.1579/07-R-345.1.
- Ivanov V.P. (2000). Biologicheskie resursy Kaspijskogo morya (monografiya). O pisyvaet b iologicheskie resursy, v klyuchaya r yb i ih promyslovoe ispol'zovanie.— Astrahan': Izd-vo KaspNIRH, 83 p.
- Kamelov S.M., Popov V.A. (2020). Biologicheskie pokazateli i struktura populyacii ryb Severo-Vostochnogo Kaspiya. Vestnik rybohozyajstvennoj nauki Kazahstana. 2. 45–52.
- Kushnarenko A.I. (2003). Ekologo-etologicheskie osnovy kolichestvennogo ucheta ryb Severnogo Kaspiya. — Astrahan': KaspNIRH. — 2003. — 180 p.
- Lebedev N.V. (1959). Metody izucheniya pitaniya ryb. Moskva: Pishchevaya promyshlennost'.
- Le Cren, E.D. (1951). The length–weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal*

of Animal Ecology. 20(2). 201–219.

Lakin G.F. (1990) Biometriya. — M.: Vysshaya shkola. — 352 p..

Mitrofanov V.P. Dukravec G.M., Sidorova A.F., Solonipova L.N. (1987). Ryby Kazahstana: 2 tom, Karpovye. — A., — Pp. 52–65

Motasim A.M., Osman M.F., Sayed M.A. (2015). Length-Weight and Some Morphometric Relationships of Valamugil seheli from Sudanese Red Sea Coast. Open Access Library Journal. — Vol. 2.— No.11. 10.4236/oalib.1101621

Nikol'skij G.V. (1963). Ekologiya ryb. — M.: Vyssh. Shkola. 1963. — 368 p.

Vetgulina T.A. (2017). Vliyanie faktorov okruzhayushchej sredy na formirovanie promyslovyh ulovov plotvy obyknovnoy (Rutilus rutilus CASPICUS) v Volgo-Kaspijskom i Severo-Kaspijskom rybolovnyh rajonah. Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: — Rybolovstvo / Vypusk 4. — Pp. 22–28

Salauat D., Shalgimbayeva S., Omarova Zh., Jumakhanova G. and Zhanysbay G. (2024). Current state of juvenile roach (Rutilus rutilus caspicus) BIO Web of Conferences 100. 04019. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410004019>

Pravdin I.F. (1966). Rukovodstvo po izucheniyu ryb. — M. Pishchevaya promyshlennost'. —376 p.

Авторлардың мақалаға қосқан үлесі

Абилов Бердібек Ибрагимұлы – ғылыми-зерттеу жұмыстарына қатысу, далалық жағдайда зерттеулер жүргізу және зертханалық жағдайда өңдеу, алынған нәтижелерді статистикалық өңдеу, мақала мәтінін жазу және редакциялық жұмыстарды жүргізу.

Асылбекова Сауле Жангирқызы – зерттеу жұмысына жалпы ғылыми жетекшілік ету және кіріспе бөліміне қажетті отандық және шетелдік әдебиет көздеріне шолу жасау.

Долгополова Светлана Юрьевна – ғылыми-зерттеу жұмыстарына қатысу, жиналған мәліметтерді өңдеу және талдау.

Мұқатай Аида Айғалымқызы – ғылыми жұмыста қолданылатын әдістемелерді талдау, мақаланы талқылау.



S.K. Abugaliyev¹, L.K. Bupebayeva^{2*}, E.A. Babich³

¹West Kazakhstan Innovative-Technological University, Uralsk, Kazakhstan;

²Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

³Research and Production Center “Agroinnovation” LLP, Kostanay, Kazakhstan.

E-mail: lyaila.bupebayeva@kaznaru.edu.kz

EFFICIENCY OF USING MODERN METHODS OF REPRODUCTION IN DAIRY CATTLE BREEDING IN KOSTANAY REGION

Abugaliyev S., Doctor of Agricultural Sciences, «West Kazakhstan Innovative-Technological University» PHPEI, Uralsk, 44 Ikhsanov St., Uralsk, 090000, Republic of Kazakhstan

E-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>;

Bupebayeva L., Candidate of Agricultural Sciences, «Kazakh National Agrarian Research University» NJSC, Almaty, Republic of Kazakhstan

E-mail: lyaila.bupebayeva@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3838-6685>;

Babich E., Candidate of Agricultural Sciences, «Research and Production Center Agroinnovation» LLP, Kostanay, Republic of Kazakhstan

E-mail: elena_76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3838-6685>.

Abstract. The article presents the results of studies evaluating the effectiveness of using sexed semen and ultrasound diagnostics in dairy cattle reproduction. The studies were conducted at the facilities of “Turar” LLP and “Olzha Sadchikovskoye” LLP in the Kostanay region, using Holstein cows and heifers. To accelerate pregnancy diagnosis, a portable Draminski ultrasound scanner with a rectal probe was used. Examinations were carried out at early stages, from the 28th to 30th day after insemination, in parallel with the rectal palpation method. It was established that ultrasound diagnostics is a highly informative method for early pregnancy detection in cows and heifers, making it possible to identify pregnancy as early as 28–35 days after insemination, which is 15–20 days earlier compared to traditional rectal palpation. It was found that in “Turar” LLP, the conception rate of heifers during the first three estrous cycles ranged from 75.3 % to 97.4 %, including 75.3 % after the first insemination. In “Olzha Sadchikovskoye” LLP, these indicators were 71.1 % to 97.4 % and 71.1 %, respectively. Three heifers in “Turar” LLP and two heifers in “Olzha Sadchikovskoye” LLP were fertilized during the fourth estrous cycle; therefore, the insemination index was 2.1 in “Turar” LLP and 2.2 in “Olzha Sadchikovskoye” LLP. The use of sexed semen from breeding bulls for the insemination of clinically healthy heifers ensured a high yield of female offspring. It was revealed that at “Turar” LLP, the proportion of female calves was 9.6 % higher than at “Olzha Sadchikovskoye” LLP, reaching 91.6 %, while the average value across the experimental farms was 87.8 %, confirming the effectiveness of this biotechnology in dairy cattle breeding. The integrated use of ultrasound diagnostics, gynecological examination, and modern reproductive biotechnologies is biologically and economically justified and can be recommended for widespread implementation in dairy cattle farming.

Keywords: dairy cattle, herd reproduction, sexed semen, ultrasound diagnostics, pregnancy, gynecological examination

For citation: Abugaliyev S.Q., Bupebayeva L.K., Babich E.A. (2026). Efficiency of using modern reproduction methods in dairy cattle breeding of the Kostanay region // Research, results – Ізденістер, нәтиже-лер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 23–37. <https://doi.org/10.37884/3-2026/02> [In Russ.]

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

Funding information. The research was carried out within the framework of program-targeted funding of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2024–2026 under the

scientific and technical program BR24992892 – «Science-based methods for improving dairy cattle productivity through the development of innovative feeding protocols and the intensification of young stock rearing technologies», funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

Acknowledgments. The authors express their sincere gratitude to the management and staff of «Turar» LLP and «Olzha Sadchikovskoye» LLP (Kostanay Region, Republic of Kazakhstan) for their assistance in organizing and conducting the research, as well as for providing the production facilities and practical support.

С.Қ. Абуғалиев¹, Л.К. Бупебаева^{2*}, Е.А. Бабич³

¹«Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті» ЖЖББМ, Орал, Қазақстан;

²«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан;

³«Агроинновация» ғылыми-өндірістік орталығы ЖШС, Қостанай, Қазақстан.

E-mail: lyaila.bupebayeva@kaznaru.edu.kz

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ СҮТТІ МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДА КӨБЕЮДІҢ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Абуғалиев С.Қ., ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті» ЖЖББМ, Орал, Қазақстан

E-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>;

Бупебаева Л.К., ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан

E-mail: lyaila.bupebayeva@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3838-6685>;

Бабич Е.А., ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Агроинновация» ғылыми-өндірістік орталығы ЖШС, Қостанай, Қазақстан

E-mail: elena_76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1248-3228>.

Аннотация. Мақалада сүтті ірі қара малдың табынды өсіру мен толықтыруда жынысы бойынша бөлінген ұрық пен ультрадыбыстық диагностиканы қолданудың тиімділігін бағалау нәтижелері ұсынылған. Зерттеулер Қостанай облысындағы «Тұрар» ЖШС және «Олжа Садчиковское» ЖШС шаруашылықтарында голштин тұқымды сиырлар мен құнажындарға жүргізілді. Буаздықты жедел анықтау үшін ректальды датчигі бар портативті Draminski ультрадыбыстық сканері қолданылды, тексеру ұрықтандырылғаннан кейінгі ерте мерзімдерде – 28–30-күндері жүргізілді, бұл ретте ректальды пальпация әдісі қатар қолданылды. Ультрадыбыстық диагностика сиырлар мен құнажындардың буаздығын ерте анықтаудың жоғары ақпараттық әдісі екені анықталды, ол буаздықты ұрықтандырылғаннан кейінгі 28–35-күндері анықтауға мүмкіндік береді, бұл дәстүрлі ректальды пальпациямен салыстырғанда 15–20 күнге ерте. «Тұрар» ЖШС-де құнажындардың алғашқы үш күйітіндегі ұрықтану көрсеткіші 75,3...97,4 % деңгейінде болды, оның ішінде бірінші ұрықтандырудан – 75,3 %. «Олжа Садчиковское» ЖШС-де бұл көрсеткіштер тиісінше 71,1...97,4 % және 71,1 % құрады. «Тұрар» ЖШС-де 3 бас, ал «Олжа Садчиковское» ЖШС-де 2 бас төртінші күйітте ұрықтандырылғандықтан, ұрықтандыру ин-дексі тиісінше 2,1 және 2,2 болды. Клиникалық сау қашарларды ұрықтандыру кезінде асыл тұқымды бұқалардың жынысы бойынша бөлінген шәуетін пайдалану төл құрамындағы ұрғашы төлдің жоғары шығымын қамтамасыз етті. «Тұрар» ЖШС-де алынған төл ішіндегі ұрғашы төлдің шығымы «Олжа Садчиковское» ЖШС-мен салыстырғанда 9,6 %-ға жоғары болып, 91,6 %-ды құрады, ал тәжірибелік шаруашылықтар бойынша орташа көрсеткіш 87,8 % болды. Бұл сүтті мал шаруашылығында аталған биотехнологияны қолданудың тиімділігін растайды. Ультрадыбыстық диагностиканы, гинекологиялық диспансеризацияны және көбеюдің заманауи биотехнологияларын кешенді қолдану биологиялық және экономикалық тұрғыдан негізделген және сүтті мал шаруашылығы тәжірибесіне кеңінен енгізуге ұсынылады.

Түйін сөздер: сүтті ірі қара мал, табынды өз төлімен толықтыру, жынысы бойынша бөлінген ұрық, ультрадыбыстық диагностика, буаздық, гинекологиялық диспансеризация

Дәйексөз үшін: Абуғалиев С.Қ., Бупебаева Л.К., Бабич Е.А. (2026). Қостанай облысының сүтті мал шаруашылығында көбеюдің заманауи әдістерін пайдаланудың тиімділігі // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 23–37. <https://doi.org/10.37884/3-2026/02> [In Russ.].

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

Қаржыландыру туралы ақпарат. Зерттеулер 2024–2026 жылдарға арналған МНЖЖБҒМ РК бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде BR24992892 ғылыми-техникалық бағдарламасы – «Сүтті ірі қара малдың өнімділігін арттырудың ғылыми негізделген әдістері, инновациялық азықтандыру хаттамаларын әзірлеу және жас малды өсіру технологияларын қарқындату» тақырыбы бойынша жүргізілді. Жоба Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды.

Алғыс. Авторлар «Тұрар» ЖШС және «Олга Садчиковское» ЖШС (Қостанай облысы, Қазақстан Республикасы) басшылығы мен ұжымына зерттеулерді ұйымдастыруға және жүргізуге жәрдем көрсеткені үшін, сондай-ақ өндірістік базаны ұсынғаны және тәжірибелік көмек бергені үшін шын жүректен алғыс білдіреді.

С.К. Абуғалиев¹, Л.К. Бупебаева^{2*}, Е.А. Бабич³

¹ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет»,
Уральск, Казахстан;

²НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан;

³ТОО «Научно-производственный центр Агроинновация», Костанай, Казахстан.

E-mail: lyaila.bupebayeva@kaznaru.edu.kz

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ВОСПРОИЗВОДСТВА В МОЛОЧНОМ СКОТОВОДСТВЕ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Абуғалиев С.К., доктор сельскохозяйственных наук, ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», Уральск, Казахстан

E-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>;

Бупебаева Л.К., кандидат сельскохозяйственных наук, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан

E-mail: lyaila.bupebayeva@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3838-6685>;

Бабич Е.А., кандидат сельскохозяйственных наук, ТОО «Научно-производственный центр Агроинновация», Костанай, Казахстан

E-mail: elena_76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1248-3228>.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по оценке эффективности применения сексированного семени и ультразвуковой диагностики в воспроизводстве молочного скота. Исследования проведены в условиях ТОО «Турар» и ТОО «Олга Садчиковское» Костанайской области с коровами и телками голштинской породы. Для ускоренного определения стельности использовали портативный ультразвуковой сканер Draminski с ректальным датчиком, обследование проводили на ранних сроках – с 28–30-го дня после осеменения, с параллельным применением метода ректальной пальпации. Установлено, что ультразвуковая диагностика является высокоинформативным методом раннего определения стельности коров и телок, позволяющим выявлять беременность уже на 28–35-й день после осеменения, что на 15–20 дней раньше по сравнению с традиционной ректальной пальпацией. Обнаружено, что в ТОО «Турар» оплодотворяемость телок в первые три охоты находилась на уровне 75,3...97,4 %, в том числе 75,3 % от первого осеменения. В ТОО «Олга Садчиковское», соответственно, 71,1...97,4 % и 71,1%. 3 головы в ТОО «Турар» и 2 головы в ТОО «Олга Садчиковское» оплодотворены в четвертую охоту, поэтому индекс осеменения составил 2,1 в ТОО «Турар» и 2,2 в ТОО «Олга Садчиковское». Использование сексированного семени быков-производителей при осеменении клинически здоровых телок обеспечило высокий выход телок в приплоде. Выявлено, что в ТОО «Турар» среди полученного приплода выход телок 9,6% выше, чем в ТОО «Олга Садчиковское» и составил 91,6%, а в среднем в опытных хозяйствах данный параметр равен 87,8 %, что подтверждает эффективность применения данной биотехнологии в молочном скотоводстве. Комплексное применение ультразвуковой диагностики, гинекологической диспансеризации и современных биотехнологий воспроизводства является биологически и экономически обоснованным и может быть рекомендовано для широкого внедрения в практику молочного скотоводства.

Ключевые слова: молочный скот, воспроизводство стада, сексированное семя, ультразвуковая диагностика, стельность, гинекологическая диспансеризация

Для цитирования: Абуғалиев С.Қ., Бупебаева Л.К., Бабич Е.А. (2026). Эффективность использования современных методов воспроизводства в молочном скотоводстве Костанайской области // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 23–37. <https://doi.org/10.37884/3-2026/02> [In Russ.]

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о финансировании. Исследования проводились в рамках программно-целевого финансирования МНВО РК на 2024-2026 гг. по научно-технической программе BR24992892 – «Научно обоснованные методы повышения продуктивности молочного скота на основе разработки инновационных протоколов кормления и интенсификации технологий выращивания молодняка», профинансированного Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Благодарность. Авторы выражают искреннюю благодарность руководству и коллективу ТОО «Турар» и ТОО «Олга Садчиковское» (Костанайская область, Казахстан) за содействие в организации и проведении исследований, а также за предоставленную производственную базу и практическую помощь.

Введение.

В скотоводстве, как и в любой отрасли, связанной с разведением животных, важное значение имеют вопросы повышения плодовитости маточного поголовья и интенсификации воспроизводства стада. Проблема увеличения высокопродуктивного поголовья молочных коров становится первостепенной в отрасли молочного скотоводства Казахстана.

Снижение плодовитости крупного рогатого скота связаны с часто выявляемыми у животных функциональными расстройствами органов репродуктивной системы, в том числе с нарушениями функциональной деятельности яичников, проявляющимися в форме их гипофункции или кисты и воспаления слизистой оболочки матки. Проблемы, связанные с воспроизводством высокопродуктивного молочного скота, в особенности длительный период репродуктивного цикла, лактационной доминанты и риск возникновения бесплодия, является одними из актуальных в молочном скотоводстве [Гамаюнов et al., 2021].

Задержка циклов воспроизводства, т.е. своевременного осеменения и стельности у молочных коров на 1-2 месяца приводит к снижению продуктивности в среднем на 9-18%. Одной из основных причин является нарушение функциональной деятельности половых желез у новотельных коров. Овариальная дисфункция, т.е. расстройство функциональной деятельности половых желез у коров развивается, как правило, на фоне нарушенного обмена веществ и усиленного проявления лактационной доминанты, сопровождаемых расстройством эндокринных механизмов регуляции функциональной деятельности половых желез. Активный синтез лактогенного комплекса на пике молочной продуктивности, в особенности первые 2–4 месяца после отела, снижает синтез гонадотропных гормонов (ЛГ, ФСГ и эстрогены). По результатам исследований [Абуғалиев et al., 2020] расстройство функциональной деятельности половых желез, проявляющихся в форме гипофункции яичников, регистрируется в среднем у 32,9 % коров, из них 36,1 % – у коров-первотелок и по 20 % – у коров второго и третьего отела. Наряду с этим параллельно из распространенных патологий в большинстве животноводческих хозяйств является воспаление слизистой оболочки матки в послеродовой период. Клинической формой заболевания болеет каждая третья корова, а в высокопродуктивных стадах диагностируют заболевание у 70–80 % животных. Субклинические эндометриты регистрируются у 70 % бесплодных коров. Выбраковка и убой бесплодных животных вследствие эндометрита достигают 50 % заболевших животных.

Послеродовые эндометриты способствуют возникновению одной из самых серьезных проблем молочного скотоводства – бесплодия коров, наносящего значительный экономический ущерб, складывающийся из потерь от недобора молока, недополучения приплода, преждевременной выбраковки высокопродуктивных коров и непроизводительных затрат на содержание, кормление, обследование и лечение больных животных. По продолжительности и особенностям течения различают острые, подострые и хронические воспалительные процессы с соответствующей длительностью бесплодия. К сопутствующим причинам в возникновении послеродового эндометрита относятся: нарушение условий содержания, кормления, эксплуатации и снижение иммунобиологического статуса животных [Бупебаева и Абуғалиев, 2025].

На сегодняшнее время развитие и внедрение инновационных технологий является перспективной отраслью во всех сферах производства, в том числе и в воспроизводстве племенного высокопродуктивного крупного рогатого скота. В современных условиях развития молочного скотоводства одной из ключевых задач является повышение эффективности организации воспроизводства стада, от которого в значительной степени зависят уровень продуктивности, темпы селекционного прогресса и экономическая устойчивость хозяйств. Нарушения воспроизводительной функции коров и тёлочек приводят к увеличению яловости, удлинению сервис-периода, снижению выхода приплода и росту затрат на содержание животных, что негативно отражается на рентабельности отрасли [Jeong et al., 2022].

Особое значение в системе воспроизводства приобретает ранняя и достоверная диагностика стельности. Несвоевременное выявление стельных и нестельных животных приводит к ошибкам в организации кормления и технологии содержания, повторным осеменениям стельных коров, абортам и недополучению приплода. Традиционные методы определения стельности, в частности ректальная пальпация, обладают ограниченной информативностью на ранних сроках и во многом зависят от квалификации специалиста [Fricke et al., 2016; Gabdullin et al., 2025].

В связи с этим в практике животноводства всё более широкое применение находит ультразвуковая диагностика, позволяющая проводить объективную оценку репродуктивного состояния животных на ранних сроках после осеменения. Использование ультразвукового сканирования обеспечивает высокую точность определения стельности, позволяет выявлять гинекологические патологии, контролировать развитие фолликулов и жёлтого тела, а также оценивать эффективность проводимых лечебно-профилактических мероприятий [Jakupov et al., 2024].

Диагностика стельности коров приобретает большое производственное значение для молочного скотоводства. Зачастую забиваемые на бойне коровы оказываются стельными с 4-5-ти месячными зародышами, что является результатом отсутствия раннего, точного и вполне объективного метода диагностики. По той же причине нередко стельные коровы считаются бесплодными и к ним применяется неправильный режим кормления, а осеменения стельных коров в ложной охоте часто приводит к абортam. Все это наносит большой экономический ущерб [Madoz et al., 2022; Падерина et al., 2023].

Наряду с совершенствованием методов диагностики, важным направлением интенсификации воспроизводства молочного скота является внедрение современных биотехнологий, в частности использование разделённого по полу семени быков-производителей. Применение сексированного семени позволяет существенно увеличить выход тёлочек, сократить генерационный интервал и ускорить генетический прогресс в стаде, что имеет важное значение для формирования высокопродуктивного маточного поголовья [Ляшенко et al., 2021].

Известно, что в молочном скотоводстве большим спросом пользуется сперма, содержащая X хромосому, что определяет женский пол, в мясном – Y хромосому, что определяет мужской пол. Эффективность, получаемая от использования данной методики, составляет 65-95 % особей желательного пола. Еще в начале 80-х гг. ученые начали проводить опыты по разделению сперматозоидов, содержащих X-хромосому (женскую) или Y-хромосому (мужскую), для этого использовали различные способы: осаждение, центрифугирование в градиенте, электрофорез, обработку специфическими антителами и т.д. Однако на практике эффективность этих приемов не была убедительно доказана. Испытания, которые в США провели на 211 фермах, показали, что телки голштинской породы, оплодотворенные X-содержащей фракцией сперматозоидов, дали потомство, в котором было 89 % самок. Компания Cogent (Великобритания) явилась первой в мире, которая стала использовать метод разделения семени быков-производителей по полу в производственных условиях. Сама методика разделения семени по полу была разработана в корпорации X&Y Inc. (США). Она основывается на том, что гаметы быков содержат гаплоидный набор хромосом. Следовательно, в одних половых клетках содержатся хромосомы X, а в других Y. В гаметах с X хромосомой содержится ДНК на 4 % больше, чем в сперматозоидах с Y хромосомой. Производя окрашивание хромосом половых клеток, было установлено, что гаметы с X хромосомой поглощают на 4–5 % красителя больше, чем гаметы с Y хромосомой [Гаврилов et al., 2023].

Эффективность использования сексированного семени во многом определяется уровнем организации воспроизводственного процесса, точностью выявления половой охоты, состоянием репродуктивной системы животных и своевременной диагностикой стельности. В этой связи комплексное применение ультразвуковой диагностики, гормональной синхронизации и современных методов искусственного осеменения рассматривается как перспективное направление повышения результативности воспроизводства молочного скота [Fricke et al., 2022].

Для молочного скотоводства было бы выгоднее, чтобы в потомстве у коров рождалось больше телок. Эта проблема особенно актуальна для нынешнего состояния в молочном скотоводстве, так как в связи с интенсификацией данной отрасли в Казахстане отмечается недостаточное получение в хозяйствах ремонтных телок, необходимых для расширенного восполнения стада. И в этой связи внедрение и широкое использование сексированного семени в воспроизводстве молочного скотоводства является наиболее эффективным решением.

Целью настоящего исследования являлась оценка эффективности применения сексированного семени в сочетании с ультразвуковой диагностикой и гинекологической диспансеризацией в системе воспроизводства молочных стад:

Материалы и методы.

Исследования проведены в условиях ТОО «Турар» и ТОО «Олга Садчиковское» Костанайской области. Объектами исследований служили коровы и тёлки молочного направления продуктивности, находящиеся в репродуктивном возрасте.

Для проведения исследований была сформирована группа тёлок случного возраста (14–16 месяцев) с живой массой не менее 350 кг. Общее поголовье, охваченное гинекологической диспансеризацией, составило 500 голов. Для оценки эффективности применения сексированного семени было осеменено 500 тёлок. Для определения стельности и выявления патологий органов воспроизводства применяли ультразвуковую диагностику (УЗИ) и традиционное ректальное исследование. Ультразвуковое исследование проводили с использованием портативного ультразвукового сканера Draminski с ректальным электронно-механическим датчиком частотой 5,0 МГц. Диагностику стельности осуществляли, начиная с 28–30-го дня после осеменения, с последующим контролем на сроках 41–50 и 51–60 дней.

Ректальное исследование осуществляли методами пальпации через прямую кишку в соответствии с общепринятыми ветеринарно-акушерскими методиками и использовали УЗИ-сканер для сравнительной оценки диагностической эффективности. В ходе УЗИ-обследования оценивали: наличие и развитие эмбриона; состояние матки и яичников; наличие жёлтого тела; признаки гинекологических патологий (эндометрит, кисты яичников, гипофункция яичников и др.).

Для анализа эффективности использования сексированного семени в ТОО «Турар» и ТОО «Олга Садчиковское» были сформированы группы животных и проведено искусственное осеменение системой визуального осеменения Alhfa Vision (Франция). Животных осеменяли однополым семенем быка голштинской породы Afterhours 551HO05134, приобретенного в ДЦ ТОО «Таурус». Искусственное осеменение проводили в период выраженной половой охоты с соблюдением технологии асептики и точного определения времени овуляции.

Целесообразность осеменения разделенным по полу семенем быков-производителей именно телок, а не коров обуславливается наличием у них гинекологических заболеваний в послеродовой период. При этом оплодотворяющая способность сексированного семени резко снижается, что приводит к перерасходу дорогостоящего семенного материала (1 доза сексированного семени может стоить, в зависимости от рейтинга быка, до 25000 тенге).

Экономическая эффективность проведенных исследований рассчитывали методами, предложенным Д.А. Ендовицким [Ендовицкий et al., 2018]. Полученные данные обрабатывали статистическими методами. Рассчитывали абсолютные и относительные показатели, выраженные в процентах. Результаты исследований скомплектованы в виде таблиц и проанализированы.

Результаты и обсуждение.

Оптимальный уровень воспроизводства коров обеспечивается нормальным функционированием всего организма и, в первую очередь, органов репродуктивной системы. Однако многие элементы промышленных технологий разведения не отвечают эволюционно выработанным физиологическим требованиям организма. Эти неблагоприятные факторы в комплексе с усиленным проявлением лактационной доминанты вызывают нарушение обмена веществ, снижение иммунологической резистентности, что приводит к общей полисистемной патологии организма животных и локальной патологии в половых органах, обуславливающих временное бесплодие и в конечном итоге – снижение молочной продуктивности. Поэтому закономерно, что вопросы диагностики, лечения и профилактики болезней органов репродуктивной системы, развивающиеся у животных до беременности и в послеродовой период, продолжают оставаться приоритетным направлением производства. Как показывают исследования, на воспроизводительную функцию коров наибольшее влияние также оказывают условия содержания, моцион и уровень кормления. На фоне гиподинамии в репродуктивном аппарате, которая

развивается наиболее чаще в стойловый период, с преобладанием привязного или скученного содержания животных, развиваются выраженные формы расстройств, проявляющиеся расширением сосудистой системы, особенно микроциркулярного русла и венозного отдела. В результате в корковой зоне яичника происходит отек, а в сосудистой зоне это приводит к стазу и в фолликулах происходит атрезия яйцеклетки. В матке в покровном эпителии слизистой оболочки и ее железистом аппарате возникают изменения эпителии, приводящие к образованию эрозий. В эрозированных участках слизистой оболочки развивается воспаление. Поэтому при климатическом бесплодии у коров наблюдается овариальные циклы в виде гипофункции яичников и неспособности слизистой оболочки матки к восприятию плода в виду их воспаления [Giordano et al., 2023].

Диагностика стельности коров приобретает большое производственное значение для молочного скотоводства. Зачастую забиваемые на бойне коровы оказываются стельными с 4-5-ти месячными зародышами, что является результатом отсутствия раннего, точного и вполне объективного метода диагностики. По той же причине нередко стельные коровы считаются бесплодными, и к ним применяется неправильный режим кормления, а осеменения стельных коров в ложной охоте часто приводит к абортam. Все это наносит большой экономический ущерб.

В ТОО «Турар» и ТОО «Олга Садчиковское» проведено ускоренное определение стельности с использованием портативного ультразвукового сканера Draminski. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Итоги ректальной диспансеризации в опытных хозяйствах [Results of rectal examinations in experimental farms]

Методы исследования	Индекс осемен.	Дни стельности					
		с 28 по 40 (n=85)		с 41 по 50 (n=100)		с 51 по 60 (n=115)	
		Сте- ль- ные	Нестельные	Сте- ль- ные	Нестельные	Сте- ль- ные	Нестельные
УЗИ-диагностика	ТОО «Турар»						
	2,1	64	21	85	15	112	3
УЗИ-диагностика	ТОО «Олга Садчиковское»						
	2,2	с 28 по 40 (n=45)		с 41 по 50 (n=79)		с 51 по 60 (n=76)	
		32	13	70	9	74	2

По данным таблицы 1 установлено, что в ТОО «Турар» оплодотворяемость телок в первые три охоты находилась на уровне 75,3...97,4 %, в том числе 75,3 % от первого осеменения. В ТОО «Садчиковское», соответственно, 71,1...97,4 % и 71,1 %. 3 головы в ТОО «Турар» и 2 головы в ТОО «Олга Садчиковское» оплодотворены в четвертую охоту, поэтому индекс осеменения составил 2,1 в ТОО «Турар» и 2,2 в ТОО «Олга Садчиковское». Индекс осеменения, или затраты доз семени на 1 плодотворное не должен превышать 2,5 дозы. Также в зоотехнической практике принято, что оплодотворяемость телок от первого осеменения на уровне ≥ 60 % считается высоким уровнем и оправдывающим затраты на осеменение.

Результативность использования семени, разделенного по полу, основной фактор его лимитированного распространения в производственной практике Казахстана, основной причиной тому является отсутствие высококвалифицированных специалистов в области воспроизводства. Концентрация такого семени ниже по сравнению с обычным в десять раз и по ходу подготовки претерпевает несколько стресс-факторов, неблагоприятно влияющих на оплодотворяющую способность сперматозоидов. При существующих методах осеменения в скотоводстве оплодотворяемость яйцеклеток коров достигает в среднем 85 %, с колебаниями от 60 до 90%. При этих показателях лишь 45% плодотворно осеменённых (после однократного осеменения) коров приносят телят. С учётом этого, уровень стельностей, зафиксированный через три месяца после однократного осеменения, достигающий 55 %, считается очень хорошим показателем [Джакупов et al., 2020].

Результативность использования разделенного по полу семени в опытных хозяйствах представлена в таблице 2.

По материалам таблицы 2 выявлено, что в ТОО «Турар» среди полученного приплода выход телок 9,6 % выше, чем в ТОО «Олга Садчиковское» и составил 91,6 %, а в среднем

Таблица 2 – Результаты гендерных исследований [Gender research results]

Хозяйство	Осеменено телок, голов	Получено телок	Получено бычков	Выход телок, %
ТОО «Турар»	300	275	25	91,6
ТОО «Олга Садчиковское»	200	164	36	82,0
Всего	500	439	61	87,8

в опытных хозяйствах данный параметр равен 87,8 %. При использовании традиционного семени выход телок в приплоде был бы не выше 55 %, что и предопределяет использование сексированного семени в воспроизводстве молочного скота, в особенности для снижения генерационного интервала.

Использование сексированного семени быков-производителей рассматривается как один из перспективных биотехнологических приёмов, направленных на интенсификацию селекционного процесса. Практика показала, что наибольшая эффективность данного метода достигается при осеменении клинически здоровых тёлочек, тогда как его применение у взрослых коров характеризуется сниженной экономической целесообразностью вследствие увеличения частоты репродуктивных нарушений в послеродовом периоде. Эффективность использования разделённого по полу семени в значительной степени определяется точностью выявления половой охоты и строгим соблюдением технологии искусственного осеменения, что подчёркивает важность комплексного подхода к организации воспроизводства молочного стада.

На сегодняшнее время развитие и внедрение инновационных технологий является перспективной отраслью во всех сферах производства, в том числе и в воспроизводстве племенного высокопродуктивного крупного рогатого скота. В воспроизводстве крупного рогатого скота особое внимание уделяется методике осеменения семенем, разделённым по полу. При изучении воспроизводительной функции знание уровня содержания половых гормонов является одним из особенных показателей толерантности организма матери и адаптируемости плода. На показатели воспроизводства, по результатам исследователей, в значительной мере влияют физиологические и продуктивные особенности животных, которым после высокой производительности требуется восстановление функции воспроизведения. Так, при производительности до 7 тыс. кг молока в год возможно получение ежегодных регулярных отелов, при 7,5 тыс. кг величина межотельного периода составляет в среднем 13 месяцев, при производительности 8200 кг межотельный период длится более 15 месяцев, а при 9300 кг – до 18 месяцев и более. Усиленная секреция лактогенных гормонов у коров в период раздоя тормозит образование фолликулостимулирующего и лютеинизирующего гормонов вплоть до снижения их молочной продуктивности, что создает предпосылки к возникновению функциональных нарушений половых желез в форме их гиподисфункции. Учитывая, что максимальное получение молочной продукции напрямую связано с ежегодным получением приплода, так как наибольший удой за лактацию получают в течение 4-х месяцев после отела на пике молочной продуктивности, основной упор должен ставиться на репродукцию коров, так как рентабельность комплекса напрямую зависит от данного показателя. Но для получения в год 85–90 телят на 100 коров необходимо ведение интенсивных методов воспроизводства стада [Абуғалиев et al., 2025].

Основная цель в молочных фермах – повышение эффективности производства продукции животноводства, которая характеризуется конечными результатами – чистым доходом, уровнем рентабельности. Расчет эффективности производства молока с использованием прогрессивных технологий основывается на оценке потенциальных выгод от его реализации как доли от общего эффекта реализации, который определяется для каждой технологии индивидуально.

Нами рассчитана экономическая эффективность применения сексированного семени в условиях ТОО «Турар» (таблица 3).

Таблица 3 – Расчет экономической эффективности использования семени, разделённого по полу [Calculation of the economic efficiency of using semen separated by sex]

Показатель	При использовании сексированного семени	При использовании традиционного семени
Соотношение пола телок к бычкам, %	92/8	49/51
Количество нетелей, гол.	300	300
Кол-во телок, гол.	276	147
Кол-во бычков, гол.	24	153
Общая стоимость от реализации бычков, тыс. тг	6000,0	38250,0

Общая рыночная стоимость телок, тыс. тг.	241500,0	128625,0
Общая стоимость затрат на осеменение, тыс. тг.	11340,0	1107,0
Прибыль, тыс. тг.	230 160,0	127 518,0
Разница тыс. тг.	102 642,0	

По данным таблицы 3 установлено, что применение сексированного семени и получение в среднем 92 % телок при рыночной стоимости телок 2500 тг за 1 кг живой массы в 12 мес. возрасте (350 кг) даст прибыль, за вычетом затрат на осеменение, 230160,0 тыс. тг. При использовании обычного семени и получении приплода в соотношении 50 % даст прибыль 127518,0 тыс. тг, т.е. хозяйство получит дополнительную прибыль в размере более 100 миллионов тенге. Расчеты проводились с учетом рыночной стоимости животных.

Ввиду того, что сексированная сперма отличается от обычной, успех работы заключается в тщательном планировании и подготовке как животного, так и самой спермы. При использовании сексированной спермы можно получать отличных здоровых телок для ремонта стада, но при этом необходимо следовать некоторым простым принципам, таким как: выбор соответствующих для осеменения коров и телок и надлежащее обращение с сексированной спермой. Сексированное семя – это сперма производителей, разделенная по полу (носителю X или Y-хромосомы) Революционным в области воспроизводства скота стало изобретение в конце 1970-х годов метода проточной цитометрии для отделения живых клеток через скоростной сортер. В 1980-х годах были попытки разделить сперматозоиды, содержащие X-хромосомы, от содержащих Y-хромосомы. Однако на тот момент положительных результатов не получили. А уже в 1992 году при использовании спермы, разделенной по полу, получили первого теленка. Еще в начале 80-х гг. ученые начали проводить опыты по разделению сперматозоидов, содержащих X-хромосому (женскую) или Y-хромосому (мужскую), для этого использовали различные способы: осаждение, центрифугирование в градиенте, электрофорез, обработку специфическими антителами и т.д. Однако на практике эффективность этих приемов не была убедительно доказана. Испытания, которые в США провели на 211 фермах, показали, что телки голштинской породы, оплодотворенные X-содержащей фракцией сперматозоидов, дали потомство, в котором было 89% самок [Nu et al., 2024].

Компания Cogent (Великобритания) явилась первой в мире, которая стала использовать метод разделения семени быков-производителей по полу в производственных условиях (1999 г.). Сама методика разделения семени по полу была разработана в корпорации X&Y Inc. (США). Она основывается на том, что гаметы быков содержат гаплоидный набор хромосом. Следовательно, в одних половых клетках содержатся хромосомы X, а в других Y. В гаметах с X-хромосомой содержится ДНК на 4% больше, чем в сперматозоидах с Y-хромосомой. Производя окрашивание хромосом половых клеток, было установлено, что гаметы с X хромосомой поглощают на 4-5% красителя больше, чем гаметы с Y-хромосомой [Джакупов et al., 2020].

Разделяемая по полу сперма проходит через проточный цитометр под определенным давлением. При этом создаются такие условия, чтобы отдельный сперматозоид содержался в одной капле раствора. Лазерное приспособление улавливает разницу в интенсивности флуоресцентного свечения и заряжает капельки со сперматозоидами отрицательным или положительным зарядом в зависимости от интенсивности свечения. После этого капельки проходят через магнитное поле и разделяются на положительно и отрицательно заряженные частицы, которые поступают в различные емкости и содержат преимущественно сперматозоиды с X или Y-хромосомой. Поврежденные сперматозоиды или неокрашенные посторонние частицы имеют нейтральный заряд и поступают в отдельную емкость. Таким образом, сексированное семя, полученное по данной технологии, гарантирует получение желаемого пола животного до 90 %. От количества поглощенного красителя зависит уровень флуоресцентного свечения, которое улавливается компьютером. Далее идет компьютерная обработка данных и когда поток спермиев пропускается через биметаллические пластины с разной полярностью, сперма сортируется на X- и Y- содержащие гаметы соответственно их заряду, и с помощью проточной скоростной лазерной цитометрии возможно выделять фракции, содержащие до 92 % половых клеток с X- или Y-хромосомой. Для заготовки разделенной спермы от быка получают 2 эякулята. Эякуляты предварительно подвергаются строгой оценке по биологическим и санитарным показателям. Они разбавляются патентованным трис-содержащим разбавителем без желтка, в состав которого вводятся антибиотики. Затем добавляют специальные красители и выдерживают сперму в течение 30-45 минут при 30 °C для проникновения красителя внутрь клеток. Затем производят сортировку половых клеток с помощью проточной цитофотометрии при 18°C [Baimukanov et al., 2024].

Коммерческое использование разделенной по полу спермы за рубежом началось с 2000 года. Основным патентообладателем на способ получения сексированной спермы является американская фирма Sexing Technologies, Navasota, Texass, которая фактически стала монополистом в этой области. Альтернативные решения (технологии) для получения сексированного семени, которые представляют другие компании гарантируют меньший выход желаемого пола (75 %), но такая продукция стоит существенно дешевле. Sexing Technology экспортирует сперму, разделенную по полу, в 75 стран мира и отдает в лизинг свои специальные лазерные установки для ее заготовки и реализации (производительность одной установки за сутки составляет 200 доз), но работают на такой установке только специалисты компании. Свой секрет ST охраняет очень тщательно, чтобы не потерять свой основной доход. И генетические компании, продающие семя быков, вынуждены за использование этой технологии платить громадные роялти. В Казахстан сперма, разделенная по полу, поступает только от зарубежных компаний, главным образом из США, основные поставщики – представительства американских корпораций ABS Global Inc, «Альта Дженетикса» и канадская «Семекс». США (данные Минсельхоза США), где масштабное оплодотворение сексированным семенем уже успешно используется на протяжении 5 лет [Urgesa et al., 2026].

В США за период с 2006 по 2008 года, по данным Министерства сельского хозяйства США, было искусственно осеменено 10 600 тыс. коров и 1 300 тыс. телок случного возраста, из них осеменено сексированным семенем 24 239 голов коров и 116 846 телочек. При этом выход телочек составил более 90 %, а уровень осеменяемости у коров – 27 %, у телочек – 43 % и расход спермодозы – 3,7 и 2,3 соответственно. Опыт работы в этом вопросе ЗАО «Ирмень» Новосибирской области (Россия) дал следующий результат: от 250 осемененных сексированным семенем телок получено 114 телят, 16 из них – бычки. Оплодотворяемость телок после первого осеменения в этом хозяйстве при использовании сексированного семени составила всего лишь 25 %, когда как при использовании обычного семени находилась на уровне 60–70 %. Показателен пример КФХ Собина Н.И. (Россия), где достаточно успешно применяют новые биотехнологические методы разведения животных, используя сексированное семя, то есть семя, разделённое по полу, импортного производства. Из полученных 146 телят – 125 телочки и 21 бычков, что в процентном соотношении составило 86 %, расход спермодозы на одно плодотворное осеменение составил 2,6 соломиноки. Из общего количества осеменяемых голов в 90% случаев фирма-производитель гарантировала рождение высокопродуктивных тёлочек. Осеменение коров сексированным семенем приводит к снижению оплодотворяемости до 18,7 % в сравнении с 47,6 % при осеменении обычным криоконсервированным семенем, тогда как в образцах заморожено-оттаянной разделенной по полу спермы быков сохраняется более высокая подвижность и выживаемость гамет. Изучение эффективности искусственного осеменения телок с использованием сексированной спермы показало, что плодотворность от однократного осеменения в трех экспериментальных хозяйствах составила соответственно 25,6 %, 45,3 % и 52,7 %. Кроме того, получение телят от осеменения сексированной спермой достигло 90,6 % в потомстве самок, что значительно превышает 46,1 % самок, показанный в контрольной группе, где использовалось обычное семя.

В настоящее время вокруг темы сексированного семени или семени, разделенного по полу, на территории бывшего Союза создан настоящий ажиотаж, когда как в Европе этот бум уже поутих. Перспектива получать только телочек будоражит умы руководителей и специалистов хозяйств. Предполагаемая прибыль, несмотря на цену за дозу сексированного семени от 7000 тенге, очень привлекательна. И поскольку сексированную сперму для коммерческого использования получают только от лучших производителей, использование такой спермы обеспечивает за короткое время путем селекционно-племенной работы повышение продуктивности животных и получение вдвое больше собственного ремонтного поголовья [Гальченко et al., 2022].

Определение стельности – важная экономическая составляющая работы модельной молочной фермы. Для диагностики стельности коров существует несколько методов: тактильный, гормональный и ультразвуковой.

Тактильный метод представляет собой мануальную пальпацию, гормональный метод основан на использовании гормонов.

Диагностика с помощью УЗИ-сканера позволяет ставить более точные диагнозы на более ранних сроках 35–42 день, определить стельность и на 28–35 день после осеменения. Кроме того, сканеры помогают обнаружить гинекологические проблемы и заболевания, начиная с 60 дня. С помощью УЗИ-диагностики также можно определить остаточное желтое тело, которое препятствует овуляции фолликулов, фолликулярные и лютеиновые кисты, гипофункции и ряд других гинекологических за-

болеваний. Кроме того, с помощью УЗИ можно, не зная точной даты осеменения, определить возраст плода, что позволит своевременно отправить животное в запуск и правильно подготовить к отёлу. Это позволит корове быстрее восстановиться после отела, выйти на пик продуктивности и раньше стать стельной.

Поэтому очень актуален вопрос экономической эффективности УЗИ-диагностики. Правда, следует знать, что сам сканер непосредственно не является товаром, так что его экономическую эффективность можно рассчитать по его окупаемости на основании специальной методики расчета.

Расчет экономической эффективности раннего определения стельности позволяет снизить затраты, так как каждый день бесплодия наносит хозяйству убытки, складывающиеся из недополученного молока, недополученного теленка и затрат на содержание яловой коровы.

В денежном эквиваленте высчитывается по следующей формуле:

- средний удой кг/сут $\times$ себестоимость молока кг/тг = НДП молоко тг

- стоимость теленка, полученного от коров молочных (НДП теленок тг), определяется по формуле:

$3,61 \times \text{стоимость 1 ц молока тг} = \text{НДП теленок тг}$

где 3,61 – количество молока, которое можно получить за счет кормов, расходуемых на получение теленка от молочных коров, стоимость 1 ц молока тг – цена 1 ц молока базисной жирности или 1 ц живой массы крупного рогатого скота высшей упитанности.

Значит 1 день бесплодия коровы на молочно-товарной ферме стоит:

$\text{НДП теленок тг} / 280 = \text{стоимость 1 дня бесплодия тг/сут}$

Затраты на содержание яловой коровы в основном состоят из стоимости кормодня. Стоимость кормодня, в свою очередь, состоит из стоимости суточного рациона, а также затраты по уходу и обслуживанию.

Убыток в сутки от каждой яловой коровы рассчитывается следующей формулой:

$\text{ст. кормодня тг/сут} + \text{Затраты по ух. и облс. тг/сут} + \text{ст. 1 д беспл. тг/сут} = \text{убыток в сутки от каждой яловой коровы тг/сут}$

Использование УЗИ для диагностики стельности позволяет на месяц раньше определить результат осеменения.

Общий убыток с одного ялового животного за весь репродуктивный цикл рассчитывается следующим образом:

$30 \text{ сут} \times \text{убыток в сутки от каждой яловой коровы тг/сут} = \text{общий убыток с одного ялового животного за весь репродуктивный цикл тг}$

Таким образом, можно просчитать окупаемость УЗИ-сканера за определенный период времени (месяц):

$\text{Стоимость УЗИ-сканера, тг} / \text{всего затрат яловых коров, тг} \times 12 \text{ месяцев} = \text{окупаемость УЗИ-сканера, мес.}$

Полный расчет окупаемости УЗИ представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет экономической эффективности использования УЗИ-диагностики [Calculation of the economic efficiency of using ultrasound diagnostics]

Показатели	ТОО «Турар»
Стоимость УЗИ- сканера, тенге	4500000
Количество коров, гол.	1173
Себестоимость, 1 кг молока, тг	134
Стоимость, 1 кг молока, тг	200
Недополученное молоко, тг/сутки	3484
Недополученный теленок, тг	72200
Убыток от каждой яловой коровы, тг/сут	4108
Общий убыток с одного ялового животного за весь репродуктивный цикл	123240
Количество выявленных яловых коров, гол.	25
Всего затрат яловых коров, тг	3081000
Окупаемость УЗИ сканера, месяц	12

По данным таблицы 4 установлено, что сканер стоимостью 4500000 тенге окупает себя уже после 12 месяцев при 2,1 % яловости.

Широкое распространение гипофункции яичников, в основном, связано с технологией содержания животных на фоне несбалансированности рациона кормления и несоответствия уровня кормления к производимой продукции. При этом частота возникновения гипофункции яичников достоверно выше у животных с низкой упитанностью по сравнению со средней кондицией, что является показателем нехватки потребляемой энергии вместе с кормом. При этом содержание концентрированных кормов от общего количества сухого вещества рациона более чем на 45 % (в высокопродуктивных стадах) также приводит к расстройствам яичников в форме лютеальных и фолликулярных кист, что также неблагоприятно влияет на результативность осеменения. И учитывая различный уровень продуктивности коров производственного стада, проявление у определенного количества животных овариальной дисфункции в форме гипофункции или кист является процессом необратимым. В этой связи рациональное использование вариантов восстановления воспроизводительных функций, на основе экзогенного введения гормональных препаратов для стимуляции нормального роста и развития фолликулов и восстановления половых циклов коров.

Что касается воспалительных процессов слизистой матки как наиболее проблемной и широко распространенной патологией в любом хозяйстве, то в данном случае имеется множество методов и способов лечения и восстановления функции матки как с высоким, так и с низким показателем результативности, которые в большинстве основаны на внутриматочном введении противомикробных препаратов или внутримышечной инъекции антибиотиков. Но как показывает практика, в некоторых случаях воспалительные процессы слизистой матки, несмотря на проведенные трудоемкие лечебные мероприятия, приобретают хроническую форму (до 5 %), что затрудняет процессы восстановления и в конечном итоге приводит к бесплодию животных, в связи с которым изучение, сравнительная оценка методов восстановления половой цикличности, повышения оплодотворяемости коров при дисфункциональном состоянии яичников и восстановлении функции слизистой матки, является актуальным направлением сельскохозяйственной науки и производства.

К тому же, изучение, определение и снижение влияния отрицательных факторов на репродуктивные функции коров является весьма актуальными на современном этапе развития АПК Республики Казахстан.

Заключение.

На основании проведенных исследований можно констатировать:

Проведенные исследования подтверждают, что эффективность воспроизводства молочного скота определяется уровнем технологической организации всего цикла репродуктивного управления стадом, включая своевременную диагностику, точность выявления половой охоты и качество используемого семенного материала. Ранняя ультразвуковая диагностика стельности на 28–35-е сутки после осеменения позволяет существенно повысить оперативность принятия зооветеринарных решений, минимизировать период неопределённого физиологического состояния животных и снизить длительность непроизводительного содержания нестельных коров и тёлочек. Это имеет принципиальное значение для промышленного молочного скотоводства, где каждый день яловости приводит к прямым экономическим потерям. Установлено, что ультразвуковая диагностика является высокоинформативным методом раннего определения стельности коров и тёлочек, позволяющим выявлять беременность уже на 28–35-й день после осеменения, что на 15–20 дней раньше по сравнению с традиционной ректальной пальпацией. Обнаружено, что в ТОО «Турар» оплодотворяемость тёлочек в первые три охоты находилась на уровне 75,3...97,4 %, в том числе 75,3 % от первого осеменения. В ТОО «Садчиковское», соответственно, 71,1...97,4 % и 71,1 %. 3 головы в ТОО «Турар» и 2 головы в ТОО «Олга Садчиковское» оплодотворены в четвертую охоту, поэтому индекс осеменения составил 2,1 в ТОО «Турар» и 2,2 в ТОО «Олга Садчиковское».

Применение сексированного семени обеспечивает целенаправленное формирование половой структуры приплода с увеличением доли тёлочек до 87,8–91,6%, что имеет ключевое значение для ускоренного формирования ремонтного поголовья молочного стада. Данный результат подтверждает высокую воспроизводительную эффективность технологии при использовании на физиологически здоровых тёлках и при соблюдении технологических параметров искусственного осеменения. Увеличение выхода тёлочек позволяет сократить сроки воспроизводительного цикла, ускорить генетическое обновление стада и повысить селекционный прогресс в молочном животноводстве. Использование сексированного семени быков-производителей при осеменении клинически здоровых тёлочек обеспечило высо-

кий выход тёлочек в приплоде, Выявлено, что в ТОО «Турар» среди полученного приплода выход тёлочек 9,6 % выше, чем в ТОО «Олжа Садчиковское», и составил 91,6 %, а в среднем в опытных хозяйствах данный параметр равен 87,8 %, что подтверждает эффективность применения данной биотехнологии в молочном скотоводстве.

Установлено, что индекс осеменения на уровне 2,1–2,2 и оплодотворяемость 71,1–75,3 % характеризуют стабильное функционирование репродуктивной системы тёлочек в условиях исследуемых хозяйств. Полученные значения соответствуют нормативным параметрам эффективного воспроизводства и свидетельствуют о достаточно высоком уровне организации искусственного осеменения. При этом выявлено, что повышение точности диагностики стельности позволяет дополнительно оптимизировать структуру осеменений, своевременно выявлять повторные циклы и снижать количество неоплодотворённых животных, что напрямую отражается на экономической эффективности производства.

Экономический анализ показал, что внедрение исследуемых технологий обеспечивает значительное повышение рентабельности молочного производства. Снижение потерь от яловости, увеличение выхода тёлочек и оптимизация использования семенного материала формируют дополнительный экономический эффект, превышающий 100 млн тенге в расчетных условиях хозяйства. При этом срок окупаемости ультразвукового оборудования составляет около 12 месяцев, что подтверждает его высокую инвестиционную эффективность и целесообразность внедрения в производственные условия крупных молочных комплексов.

В целом установлено, что комплексное использование ультразвуковой диагностики, гинекологической диспансеризации и сексированного семени представляет собой современный технологический подход к управлению воспроизводством молочного скота, обеспечивающий одновременное повышение биологической, селекционной и экономической эффективности. Реализация данного подхода способствует снижению репродуктивных потерь, улучшению структуры стада, повышению выхода приплода и устойчивому развитию молочного скотоводства в условиях интенсификации отрасли.

Следует отметить, что полученные результаты имеют не только производственное, но и практическое значение для дальнейшего совершенствования системы воспроизводства молочного скота в условиях интенсивного ведения отрасли. Использование современных методов контроля репродуктивной функции позволяет своевременно выявлять нарушения воспроизводительных процессов, проводить корректирующие ветеринарные мероприятия и повышать эффективность управления стадом. Важным преимуществом ультразвуковой диагностики является возможность раннего выявления стельности и патологий органов репродуктивной системы, что способствует снижению яловости, сокращению сервис-периода и более рациональному использованию кормовых и трудовых ресурсов хозяйства. В свою очередь, применение сексированного семени позволяет обеспечить хозяйства достаточным количеством ремонтных тёлочек собственного воспроизводства, снизить зависимость от закупки племенного молодняка и повысить темпы генетического совершенствования стада. Полученные данные свидетельствуют о том, что внедрение современных репродуктивных технологий способствует повышению конкурентоспособности молочного скотоводства, увеличению экономической устойчивости хозяйств и созданию предпосылок для дальнейшего роста продуктивности животных. Практическая реализация предложенного комплекса мероприятий позволяет повысить эффективность селекционно-племенной работы, обеспечить более полное использование генетического потенциала животных и создать условия для устойчивого развития молочной отрасли в современных производственных условиях.

Комплексное применение ультразвуковой диагностики, гинекологической диспансеризации и современных биотехнологий воспроизводства является биологически и экономически обоснованным и может быть рекомендовано для широкого внедрения в практику молочного скотоводства.

ЛИТЕРАТУРЫ

- Абугалиев С.К., Бупебаева Л.К., Байбатырова М.А., Маткеримов Н.К., Маткеримова К.Г., & Кадргалиева А.Ж. (2020). Современные биотехнологические методы в воспроизводстве крупного рогатого скота молочных пород // Главный зоотехник, (6), 19–26. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2006-03>
- Абугалиев С.К., Жолдасбеков А.К. (2025). Қазақстанның әр түрлі аймақтарындағы сауын сиырлардың сүт өнімділігі және өсіп көбею құндылығы // Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университетінің Хабаршысы. 35(3). 395–405. <https://doi.org/10.62724/202530501>
- Бупебаева Л. К., & Абугалиев С.К. (2025). Организация племенной работы в молочных стадах Казахстана. Полиграф-сервис. ISBN 978-601-365-075-3.
- Baimukanov A.D., Bissembayev A.T., Yuldashbayev Y.A., Chindaliyev A.E., Shamshidin A.S., Amerkhanov K.A., Saginbayev A.K., & Aubakirov K.A. (2024). Reproductive indicators of the Alatau cattle breed of Kazakhstan population // OnLine Journal of Biological Sciences, 24(1), 64–70. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2024.64.70>
- Гамаюнов В.М., Кольцов Д.Н., Онуфриев В. А., & Целуева Н.И. (2021). Комплексное применение гормональных препаратов для восстановления половой цикличности у коров // Международный вестник ветеринарии. (2). 28–31. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.2.28>
- Гаврилов Б. В., Коваль И. В., Богатырь М. В., Целикова А.А. (2023). Применение сексированной спермы в молочном скотоводстве // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. (10). 187–193. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-10-187-193>
- Гальченко В.А., Перерядкина С.П., Никитин Г.С., Авдеев В.С., & Лисиченко Г.О. (2022). Эффективность синхронизации половой охоты у коров на высокотехнологичном молочном модернизированном предприятии // Международный вестник ветеринарии, (4), 395–400. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.4.395>
- Ендовицкий Д.А., Любушин Н.П., Бабичева Н.Э. (2018). Финансовый анализ. Москва: КноРус. <https://isbn 978-5-406-06167-1>
- Джакупов И.Т., Жаркимбаева Ж.З., & Жарылгасынов С.С. (2020). Устройство для диагностики стельности и бесплодия у коров // Ветеринария, (4), 45–48. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.4.45-48>
- Падерина Р. В., Виноградова Н. Д. (2023). Использование сексированного семени для воспроизводства в молочном скотоводстве. Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии, 1, 56–59. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2023.1.56>
- Ляшенко В.В., Смирнов А.А., Петров И.В., Губина А.В. (2021). Эффективность использования сексированной спермы у телок голштинской породы. Зоотехния. 9. 36–39. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.57.40.010>
- Jeong J.-K., Kim U.-H., Kang H.-G., & Kim I.-H. (2022). Selective use of a modified presynchronization-Ovsynch and resynchronization reproductive strategy in dairy herds // A field application study. Reproduction in Domestic Animals, 57(1), 45–54. <https://doi.org/10.1111/rda.14027>
- Jakupov I.T., Kurmangaliyev Y.Ü., & Zharkimbaeva Zh.Z. (2024). The instrumental method of pregnancy and infertility diagnosis in cattle: Age-wise efficiency // Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University: Veterinary Sciences, 2(006). [https://doi.org/10.51452/kazatuvc.2024.2\(006\).1659](https://doi.org/10.51452/kazatuvc.2024.2(006).1659)
- Fricke P.M., & Wiltbank M.C. (2022). Symposium review: The implications of spontaneous versus synchronized ovulations on the reproductive performance of lactating dairy cows // Journal of Dairy Science. 105(5). 4679–4689. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21431>
- Fricke P.M., Ricci A., Giordano J.O., & Carvalho P.D. (2016). Methods for and implementation of pregnancy diagnosis in dairy cows. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 32(1), 165–180. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.006>
- Hu H.H., Mu T., Zhang Z.B., Zhang J.X., Feng X., Han L.Y., Hao F., Ma Y.F., Jiang Y., & Ma Y. (2024). Genetic analysis of health traits and their associations with longevity, fertility, production, and conformation traits in Holstein cattle. Animal, 18(6), 101177. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101177>
- Gabdullin D., Abdrakhmanov T., Nysanov E., Kaiypbay B., & Sabyrova A. (2025). Comparative diagnostics of pregnancy detection methods in cattle. Science and Education, 1(3), 3–12. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2025-3-1-3-12>
- Giordano J.O., & Sauls J.A. (2023). Precision reproductive management in dairy herds using timed artificial insemination programs // Animal Reproduction Science. 258. 107390. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2023.107390>
- Madoz L.V., Lorenti S.N., Rearte R., Quintero-Rodríguez, L., Migliorisi A.L., Jaureguierry M., Gabler, C., Drillich M., & de la Sota R.L. (2022). Detection of nonpregnant cows and potential embryo losses by color Doppler ultrasound and interferon-stimulated gene expression in grazing dairy cows. Journal of Dairy Science. 105(8). 6973–6984. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21171>
- Urgesa L., & Yang J. (2026). Hormonal estrus synchronization in dairy cattle in Ethiopia: Opportunities, constraints and strategies for improved reproductive efficiency (Review) // International Journal of Food Science and Biotechnology. 11(1). 1–7. <https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20261101.11>

REFERENCES

- Abugaliyev S.K., Bupebaeva L.K., Baibatyrova M.A., Matkerimov N.K., Matkerimova K.G., & Kadyrgaliyeva A.Zh. (2020). Modern biotechnological methods in reproduction of dairy cattle. Chief Zootechnician, (6). 19–26. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2006-03>
- Abugaliyev S., Zholdasbekov, A.K. (2025). Milk productivity and reproductive value of dairy cows in different regions of Kazakhstan // Bulletin of West Kazakhstan Innovation and Technological University. 35(3). 395–405. <https://doi.org/10.62724/202530501>
- Baimukanov, A.D., Bissembayev, A.T., Yuldashbayev, Y.A. et al. (2024). Reproductive indicators of the Alatau cattle breed of Kazakhstan population // Online Journal of Biological Sciences. 24(1). 64–70. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2024.64.70>
- Bupebaeva, L.K., & Abugaliyev, S.K. (2025). Organization of breeding work in dairy herds of Kazakhstan. Poligraf Servis. ISBN 978-601-365-075-3.
- Endovitskiy, D.A., Lyubushin, N.P. & Babicheva, N.E. (2018). Financial analysis. — M.: KnoRus. ISBN 978-5-406-06167-1
- Fricke, P.M., Ricci, A., Giordano, J.O., & Carvalho, P.D. (2016). Methods for and implementation of pregnancy diagnosis in dairy cows // Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 32(1), 165–180. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.006>
- Fricke, P.M., & Wiltbank, M.C. (2022). Symposium review: The implications of spontaneous versus synchronized ovulations on reproductive performance of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 105(5). 4679–4689. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21431>
- Gabdullin, D., Abdrakhmanov, T., Nysanov, E., Kaiypbay, B., & Sabyrova, A. (2025). Comparative diagnostics of pregnancy detection methods in cattle. Science and Education, 1(3), 3–12. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2025-3-1-3-12>
- Gamayunov V.M., Koltsov D.N., Onufriev V.A., & Tselueva N.I. (2021). Complex use of hormonal drugs for restoration of estrous cyclicity in cows. International Veterinary Herald. (2). 28–31. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2021.2.28>
- Gavrilov, B.V., Koval, I.V., Bogatyr, M.V., & Tselikova, A.A. (2023). Application of sexed semen in dairy cattle breeding // Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University, (10). 187–193. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-10-187-193>
- Giordano, J.O., & Sauls, J.A. (2023). Precision reproductive management in dairy herds using timed artificial insemination programs // Animal Reproduction Science, 258, 107390. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2023.107390>

- Galchenko, V.A., Pereryadkina, S. P., Nikitin, G.S., Avdeenko, V.S., & Lisichenko, G.O. (2022). Efficiency of estrus synchronization in cows at a high-tech dairy enterprise // International Veterinary Herald. (4). 395–400. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.4.395>
- Hu, H.H., Mu, T., Zhang, Z.B., et al. (2024). Genetic analysis of health traits and their associations with longevity, fertility, production, and conformation traits in Holstein cattle. *Animal*, 18(6), 101177. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101177>
- Jeong, J.-K., Kim, U.-H., Kang, H.-G., & Kim, I.-H. (2022). Selective use of a modified presynchronization-Ovsynch and resynchronization reproductive strategy in dairy herds: A field application study // *Reproduction in Domestic Animals*. 57(1). 45–54. <https://doi.org/10.1111/rda.14027>
- Jakupov, I.T., Kurmangaliyev, Y.Ü., & Zharkimbaeva, Zh.Z. (2024). The instrumental method of pregnancy and infertility diagnosis in cattle: Age-wise efficiency. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University: Veterinary Sciences*, 2(006). [https://doi.org/10.51452/kazatuvc.2024.2\(006\).1659](https://doi.org/10.51452/kazatuvc.2024.2(006).1659)
- Jakupov, I.T., Zharkimbaeva, Zh.Z., & Zharylgasynov, S.S. (2020). Device for pregnancy and infertility diagnosis in cows. *Veterinary Science*. (4). 45–48. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.4.45-48>
- Lyashenko, V.V., Smirnov, A.A., Petrov, I.V., & Gubina, A.V. (2021). Efficiency of sexed semen use in Holstein heifers. *Zootechny*. 9. 36–39. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.57.40.010>
- Madoz, L.V., Lorenti, S. N., Rearte, R., Quintero-Rodríguez, L., Migliorisi, A.L., Jaureguiberry, M., Gabler, C., Drillich, M., & de la Sota, R.L. (2022). Detection of nonpregnant cows and potential embryo losses by color Doppler ultrasound and interferon-stimulated gene expression in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(8). 6973–6984. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21171>
- Paderina, R.V., & Vinogradova, N.D. (2023). Use of sexed semen for reproduction in dairy cattle. *Regulatory and Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 1. 56–59. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2023.1.56>
- Urgesa, L., & Yang, J. (2026). Hormonal estrus synchronization in dairy cattle in Ethiopia: Opportunities, constraints and strategies for improved reproductive efficiency (Review) // *International Journal of Food Science and Biotechnology*, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.11648/j.ijfsb.20261101.11>

С.Қ. Абуғалиев – основной автор, методическая основа статьи

Л.К. Бунебаева – автор-корреспондент, общий анализ данных

Е.А. Бабич – сбор материалов и их компаративный анализ



M.B. Kalmagambetov, A.T. Berikbaeva, L.B. Mukanova*, A.A. Baisabyrova

Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: lyazzat.mukanova@mail.ru

REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF HEIFERS AND YOUNG COWS UNDER DIFFERENT RUMEN DEGRADABLE PROTEIN AVAILABILITY

Kalmagambetov Murat Baitugelovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Center for Coordination of Scientific Research Institute and OH, «Kazakh National Agrarian Research University», Republic of Kazakhstan, Almaty city, Abay Avenue 8, 050010

E-mail: mbaitugel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0675-1369>;

Berikbayeva Aizhan Tleuberdinovna, Doctoral student of the Kazakh National Agrarian Research University studying in the educational program 8D08201 - «Technology of Livestock Production», Republic of Kazakhstan, Almaty city, Abay Avenue 8, 050010

E-mail: kendalaso@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7413-3224>;

Mukanova Lyazzat Balgabaikyzy, PhD, «Kazakh National Agrarian Research University», Republic of Kazakhstan, Almaty city, Abay Avenue 8, 050021

E-mail: lyazzat.mukanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8041-5235>;

Baisabyrova Aizhan Aikynovna, Doctoral student of the Kazakh National Agrarian Research University studying in the educational program 8D08201- «Technology of Livestock Production», Republic of Kazakhstan, Almaty city, Abay Avenue 8, 050010

E-mail: bek_aizhan_love@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4687-9001>.

Abstract. The article presents the results of the influence of different levels of soluble and cleavable protein in the diet on the productivity of repair heifers and heifers of dairy cattle. The research was carried out during the preparation of heifers for insemination, throughout heifer pregnancy, during the postpartum uterine involution period following calving, and subsequent insemination. It has been established that feeding feeds with a high degree of soluble and degradable protein contributes to an increase in the concentration of ammonia in the rumen. This is the reason for the increased excretion of nitrogen from the body. The low degree of these fractions limits microbial synthesis and the productive effect of the protein. Therefore, to maximize the use of feed protein by ruminants, it is necessary to find ways to regulate its fermentation in the rumen while increasing microbial protein synthesis. Of particular interest is the protection of feed protein from the effects of rumen microorganisms and its partial replacement with nitrogenous compounds to obtain an optimal fermentation rate and maximum microbial yield. The state of reproduction is determined by many factors, the degree of influence of which is not the same in each household. The level and usefulness of feeding, the system of maintenance and zoohygenic conditions, and the organization of insemination of animals are the most important, and their importance is undeniable. These factors are constantly discussed, and often failures in farms are attributed solely to them. At the same time, the organization of veterinary control, as well as the regularity and completeness of the assessment of the state of reproduction in general, also have a great influence. The importance of the issue increases when studying the reproductive performance of replacement young stock, which are particularly sensitive to protein deficiency. Its deficiency leads to impaired enzyme function, hormonal disorders, and affects animal reproduction. The lack of vital amino acids has a particularly adverse effect on fertility. The inclusion of 15 % protected soybean meal and 10% amino acid-enriched compound feed concentrate in the diet of the experimental groups had a positive effect on the fruitfulness of insemination, the normal course of the birth process, rapid separation of the afterbirth, and shortening of the service period.

Keywords: feed, diet, feeding, cleavable protein, insemination, fertilization

For citation: Kalmagambetov M.B., Berikbaeva A.T., Mukanova L.B., Baisabyrova A.A. (2026). Re-productive performance of heifers and young cows under different rumen degradable protein availability // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 38–50. <https://doi.org/10.37884/3-2026/03> [In Russ.]

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

М.Б. Калмагамбетов, А.Т. Берикбаева, Л.Б. Муканова, А.А. Байсабырова*

«Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КеАҚ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: lyazzat.mukanova@mail.ru

РАЦИОН ПРОТЕИНИНІҢ МЕСҚАРЫНДАҒЫ ЫДЫРАУ ДӘРЕЖЕСІ ӘРТҮРЛІ БОЛҒАН ЖАҒДАЙДА ҚАШАРЛАР МЕН ҚҰНАЖЫНДАРДЫҢ КӨБЕЮ ҚАБІЛЕТТІЛІГІ

Калмагамбетов Мурат Байтүгелович, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент, ҒЗИ және ТШ жұмыстарын үйлестіру орталығының жетекшісі, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050010, Қазақстан, Алматы, Абай даңғылы, 8

E-mail: mbaitugel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0675-1369>;

Берикбаева Айжан Тлеубердиновна, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 8D08201 - «Мал шаруашылығы өнімдерін өндіру технологиясы» білім беру бағдарламасы бойынша докторант, 050010, Қазақстан, Алматы, Абай даңғылы, 8

E-mail: kendalaso@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7413-3224>;

Муканова Ляззат Балғабайқызы, PhD, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 050021, Қазақстан, Алматы қаласы, Абай даңғылы, 8

E-mail: lyazzat.mukanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8041-5235>;

Байсабырова Айжан Айқыновна, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, 8D08201 - «Мал шаруашылығы өнімдерін өндіру технологиясы» білім беру бағдарламасы бойынша докторант, 050010, Қазақстан, Алматы, Абай даңғылы, 8

E-mail: bek_aizhan_love@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4687-9001>.

Аннотация. Мақалада рационда еритін және ыдырайтын ақуыздың әр түрлі деңгейінің сүтті малдың құнажындары мен табын алмастырушы қашарлардың өнімділігіне әсері көрсетілген. Зерттеу жұмыстары қашарлардың ұрықтандыруға дайындау, құнажындардың буаздығына, төлдегеннен кейінгі қалпына келу үрдістермен жануарларды ұрықтандыру кезеңімен жүргізілді. Жоғары дәрежеде еритін және ыдырайтын ақуызы бар жемшөппен азықтандыру месқарындағы аммиак концентрациясының артуына ықпал ететіні анықталды. Бұл организмнен азоттың сыртқа бөлінуінің жоғарылауының себебі. Көрсетілген фракциялардың төмен дәрежесі микробтардың синтезін және ақуыздың өнімді әсерін шектейді. Демек, күйіс қайыратын жануарлардың азықтық ақуызды барынша пайдалану үшін микробтық ақуыз синтезінің жоғарылауымен бірге оның месқарында ашытуын реттейтін әдістерді іздеу қажет. Азықтық ақуызды месқарында микроорганизмдерінің әсерінен қорғау және оңтайлы ашыту жылдамдығы мен микробтық ақуыздың жоғары дәрежеде артуы үшін препараттарды азотты қосылыстармен ішінара ауыстыру белгілі бір қызығушылық тудырады. Аналық малдан төл алу жағдайы көптеген факторларға байланысты, олардың әрқайсысының әсер ету дәрежесі әр шаруашылықта бірдей емес. Малды толыққұнды және жеткілікті азықтандыру деңгейі, оны күтіп-бағу жүйесі мен зоогигиеналық жағдайлар, жануарларды қолдан ұрықтандыруды ұйымдастыру – ең маңызды факторлар болып табылады және олардың маңыздылығы өте ерекше. Бұл факторлар үнемі талқыланады және шаруашылықтардағы сәтсіздіктер көбінесе ұдайы өндірумен ғана байланыстырылады. Сонымен қатар, ветеринариялық бақылауды дұрыс ұйымдастыру қажет, сондай-ақ төл алу жағдайын уақтылы және толық бағалау да үлкен әсерін тигізеді. Жұмыстың маңыздылығы ақуыздың жетіспеушілігіне ерекше сезімтал жас аналық малдардың өніп-көбею қасиеттерін зерттеу кезінде артады. Оның жетіспеушілігі ферменттер функциясының те-желуіне, гормоналды бұзылуларға әкеледі, жануарлардың көбеюіне теріс әсер етеді. Тіршілікке маңызды аминқышқылдарының тапшылығы, әсіресе, малдың төлдегіштігіне кері септігін тигізеді. Тәжірибелі топтарды

азықтандыруда 15 % ыдрайтын соя шроты мен 10% аминқышқылдарымен байытылған құрама жем концентратын рационға қосу ұрықтандырудың ұтымдылығына, туу үрдісінің қалыпты өтуіне, шуудың тез бөлінуіне және сервис кезеңінің қысқаруына оң әсер етті.

Түйін сөздер: азық, рацион, азықтандыру, ыдырайтын протеин, ұрықтандыру, ұрықтану көрсеткіші

Дәйексөз үшін: Калмагамбетов М.Б., Берикбаева А.Т., Мұканова Л.Б., Байсабырова А.А. (2026). Рацион протеинінің месқарындағы ыдырау дәрежесі әртүрлі болған жағдайда қашарлар мен құнажындардың көбею қабілеттілігі // // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 38–50. <https://doi.org/10.37884/3-2026/03> [In Russ.].

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

М.Б. Калмагамбетов, А.Т. Берикбаева, Л.Б. Мұканова*, А.А. Байсабырова

НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет». Алматы, Казахстан.

E-mail: lyazzat.mukanova@mail.ru

РЕПРОДУКТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТЕЛОК И НЕТЕЛЕЙ ПРИ РАЗНОЙ ДОСТУПНОСТИ ПРОТЕИНА РАЦИОНА ФЕРМЕНТАЦИИ В РУБЦЕ

Калмагамбетов Мурат Байтугелович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, руководитель цен-тра координации деятельности НИИ и ОХ, НАО «Казахский национальный аграрный исследователь-ский университет», 050021, Казахстан, Алматы, проспект Абая, 8

E-mail: mbaitugel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0675-1369>;

Берикбаева Айжан Тлеубердиновна, докторант Казахского национального аграрного исследователь-ского университета по образовательной программе 8D08201 - «Технология производства продуктов животноводства», 050021, Казахстан, Алматы, проспект Абая, 8

E-mail: kendalaso@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7413-3224>;

Мұканова Ляззат Балғабайқызы, PhD, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», 050021, Казахстан, Алматы, проспект Абая, 8

E-mail: lyazzat.mukanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8041-5235>;

Байсабырова Айжан Айкыновна, докторант Казахского национального аграрного исследователь-ского университета по образовательной программе 8D08201 - «Технология производства продуктов животноводства», 050021, Казахстан, Алматы, проспект Абая, 8

E-mail: bek_aizhan_love@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4687-9001>.

Аннотация. В статье излагаются результаты влияния различного уровня растворимого и расщепляемого протеина рациона на продуктивность ремонтных телок и нетелей молочного скота. Исследования осуществлялись в период подготовки телок к осеменению, стельности нетелей, после отельных инволюционных процессов с последующим оплодотворением животных. Установлено, что скармливание кормов с высокой степенью растворимого и расщепляемого протеина способствует увеличению концентрации аммиака в рубце. Это является причиной повышенной экскреции азота из организма. Низкая степень указанных фракций ограничивает микробный синтез и продуктивное действие протеина. Следовательно, для максимального использования кормового протеина жвачными необходимо изыскание способов, регулирующих его ферментацию в рубце с одновременным повышением синтеза микробного белка. Определенный интерес представляет защита протеина корма от воздействия рубцовых микроорганизмов и частичная его замена препаратами азотистыми соединениями для получения оптимальной скорости ферментации и максимального микробного выхода. Состояние воспроизводства обуславливается многими факторами, степень влияния которых в каждом хозяйстве не одинакова. Уровень и полноценность кормления, система содержания и зооигиенические условия, организация осеменения животных – наиболее важные, и значимость их несомненна. Эти факторы обсуждаются постоянно, и нередко неудачи в хозяйствах относят только на их счет. В то же время большое влияние оказывают и организация ветеринарного контроля, а также регулярность и полнота оценки состояния воспроизводства в целом. Значимость вопроса возрастает при изучении воспроизводительных свойств у ремонтного молодняка, который особенно чувствителен

к дефициту протеина. Его недостаток приводит к нарушению функции ферментов, гормональным расстройствам, влияет на воспроизводство животных. Особенно неблагоприятно сказывается на плодовитости отсутствие жизненно важных аминокислот. Включение в рацион кормления опытных групп 15 % защищенного соевого шрота и 10% обогащенного аминокислотами комбикорм-концентрата положительно повлияло на плодотворность осеменений, нормальное протекание родового процесса, быстрое отделение последа и сокращение сервис-периода.

Ключевые слова: корм, рацион, кормления, расщепляемый протеин, осеменения, оплодотворяемость

Для цитирования: Калмагамбетов М.Б., Берикбаева А.Т., Мұқанова Л.Б., Байсабырова А.А. (2026). Репродуктивная способность телок и нетелей при разной доступности протеина рациона ферментации в рубце // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 38–50. <https://doi.org/10.37884/3-2026/03> [In Russ.]

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Исследования проведены согласно приоритетному специализированному направлению программно-целевого финансирования по научным, научно-техническим программам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан «Развитие животноводства на основе интенсивных технологий» ИРН BR10764981 «Разработка технологий эффективного управления селекционным процессом сохранения и совершенствования генетических ресурсов в молочном скотоводстве».

Введение.

Уровнем и полноценностью кормления определяются здоровье и продуктивность коров, показатели воспроизводства, сохранение племенных качеств, продолжительность продуктивной эксплуатации. На основе новейших рекомендаций науки необходимо оптимизировать структуру рационов для коров, технологии приготовления кормов, обосновать применительно к регионам оптимальное сочетание основных видов кормов: комбикормов, зерносенажа, сена, сенажа, силоса и других. В каждом хозяйстве должна быть налажена компьютерная система расчета кормовых рационов, рецептов комбикормов-концентратов, необходимо исключить использование кормов без полного их балансирования по всем нормируемым ингредиентам. Реальным условием повышения молочной продуктивности коров может стать максимальное вложение труда и капитала в увеличение заготовки высококачественных объемистых кормов собственного производства при одновременном сохранении на высоком уровне биологической полноценности и сбалансированности рационов кормления коров. Наличие надежной собственной кормовой базы в хозяйствах будет в ближайшей перспективе важным резервом снижения себестоимости продукции молочного скотоводства. Улучшение качества объемистых кормов по концентрации энергии и сырого протеина (СП) резко снижает потребность коров в высокоэнергетических концентратах. Увеличение концентрации обменной энергии и СП в сухом веществе травяных кормов с 8 МДж и 10 % соответственно до 10 МДж и 16 % позволяет снизить уровень комбикорма в суточном рационе коровы с удоем 25 кг практически в 2 раза (с 10 до 5,5 кг). Это говорит о том, что баланс зерна можно увеличить не только за счет огромных вложений на возделывание зерновых, но и за счет их экономии в животноводстве [Карпенко et al., 2021].

Ремонт стада в сельхозпредприятиях занимает 20–22 % общих затрат на производство молока, а это значит, что интенсивность выращивания ремонтного молодняка должна быть высокой. Основными показателями развития ремонтных телок являются: живая масса, возраст и упитанность при плодотворном осеменении. Среднесуточные приросты живой массы телок за весь период выращивания должны составлять не менее 750 граммов. Важно учитывать состояние здоровья за весь период выращивания. Животное, у которого были проблемы со здоровьем, уже никогда не достигнет максимальной продуктивности и обречено на быструю выбраковку. Кроме вышеуказанных основных направлений, повышению продуктивности и снижению выбытия коров будет способствовать рациональная организация племенной работы: за счет целенаправленного отбора и подбора можно создать генофонд животных, устойчивых к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды [Исабекова et al., 2023].

До настоящего времени вопрос полноценного обеспечения организма животных белковыми веществами рассматривался в связи с определенным количеством протеина в рационе, устанавливаемого по разности: принято – выделено. Однако данная задача не отражает фактический обеспеченности

животных белками, т.к. не учитываются физико-ферментативные процессы с азотистыми соединениями в рубце. Поэтому важным является учет степени растворимости и расщепляемости протеина. Данные показатели отражают интенсивность рубцовой ферментации азотосодержащих веществ и определяют эффективность их использования. Установлено, что скармливание кормов с высокой степенью растворимого и расщепляемого протеина способствует увеличению концентрации аммиака в рубце. Это является причиной повышенной экскреции азота из организма. Низкая степень указанных фракций ограничивает микробный синтез и продуктивное действие протеина. Следовательно, для максимального использования кормового протеина жвачными необходимо изыскание способов, регулирующих его ферментацию в рубце с одновременным повышением синтеза микробного белка. Определенный интерес представляет защита протеина корма от воздействия рубцовых микроорганизмов и частичная его замена препаратов азотистыми соединениями для получения оптимальной скорости ферментации и максимального микробного выхода. Значимость вопроса возрастает при изучении воспроизводительных свойств у ремонтного молодняка, который особенно чувствителен к дефициту протеина. Его недостаток приводит к нарушению функции ферментов, гормональным расстройствам, влияет на воспроизводство животных. Особенно неблагоприятно сказывается на плодовитости отсутствие жизненно важных аминокислот. В связи с этим особое внимание должно уделяться не только количеству белка в рационе, но и его качественному составу. Причем, не так важно происхождение, количество и качество белка и его правильное соотношение с энергетической ценностью рациона. Излишнее потребление белка не приводит к таким последствиям, как его недостаток, но у жвачных животных оно нежелательно. У них постоянный избыток белка при одновременном недостатке углеводов вызывает изменение пищеварения в рубце и приводит к накоплению в организме большого количества кетонных тел и развитию кетоза. У больных животных уменьшается содержание глюкозы в крови, нарушается минеральный обмен, возникает дефицит витамина А вследствие ослабления его всасывания. Все это представляет собой стресс, который обуславливает понижение продуктивности и плодовитости самок. Увеличивается частота трудных родов, задержания последа, эндометритов, кист яичников; понижается оплодотворяемость [Гусаров et al., 2023; Мороз., 2022].

Методы и материалы.

С целью определения влияния различного уровня растворимого и расщепляемого протеина рациона на продуктивность ремонтных телок и нетелей голштинской породы были сформированы 3 группы телок в возрасте 15 месяцев 12 голов в каждой. Научно-хозяйственные опыты проводились в СПК «Племзавод Алматы» Талгарского района Алматинской области. Животные отбирались по принципу пар-аналогов и состоянию генитальных органов. В период научно-хозяйственного опыта по общепринятой методике [Омбаев et al., 2017] проведен физиологический опыт на трех 3 головах из каждой группы по изучению переваримости питательных веществ рационов по основным элементам питания.

Эксперимент осуществлялся в период подготовки телок к осеменению, стельности нетелей, послеотельных инволюционных процессов с последующим оплодотворением животных. Основные элементы научных опытов – определение физиологического состояния стельности у животных, контроль подготовки их к отелу, приема родов и течения послеродового периода; предупреждение или своевременное выявление акушерских и гинекологических заболеваний и лечение заболевших животных [Алдабергенов et al., 2026]. В предварительный период для научно-хозяйственного опыта отобраны образцы кормов и их остатков для полного зоотехнического анализа по общепринятым методикам [Лаврова et al., 2006].

В ходе проведения физиологического опыта ежедневно велся учёт продуктивности животных, количество задаваемых кормов и их остатков, выделенных мочи и кала отдельно по каждому животному. Затем был изучен их химический состав с целью определения поедаемости и переваримости питательных веществ рационов подопытными животными. Контрольные животные использовали рацион, сбалансированный по протеину по физиологической норме, I – на 10 % выше, II – на 15 % выше. На протяжении стойлового периода поедаемость кормов определяли взвешиванием заданного и остатков их 1 раз в 10 дней. На основании результатов зоотехнического анализа и оценки фактической питательности используемых кормов были разработаны рационы кормления подопытных животных, сбалансированы по детализированным нормам кормления с учетом показателей питательных веществ [Калашникова et al., 2003].

Недостающие минеральные вещества в рационе подопытных животных восполнялись кормовыми добавками нового поколения.

Полученный основной цифровой материал обработан методом вариационной статистики с использованием компьютерной программы [Лакин et al., 1990].

Результаты исследований.

Рационы составляли 2 раза в месяц в зависимости от наличия кормов, питательность их устанавливали по показателям основных элементов кормления (таблица 1). Результаты химического анализа проб показали, что содержание сырого протеина в сухом веществе грубых кормов колеблется от 6,75 до 12,5 %, сочных – от 8,57 до 14,71 и концентрированных – до 27,06 %. Различный уровень обменной энергии и протеина в рационах достигался за счет скармливания высококачественных кормов (сенажа из эспарцета и концентратов). В суточном рационе на энергетическую кормовую единицу содержание переваримого протеина составило в контрольной группе 112,4г, I – 124,7 и во II – 102,3г, или концентрация сырого протеина в сухом веществе равнялась 13,65; 14,3 и 11,6 %.

Таблица 1 – Фактическое среднесуточное потребление кормов по группам (в сутки на голову)

№	Показатели	Группы		
		контрольная	I опытная	II опытная
1	Сено злаковое, кг	4,7	4,8	4,5
2	Сенаж из многолетних трав, кг	4,8	6,8	3,8
3	Силос кукурузный, кг	9,7	9,6	10,5
4	Ячмень, кг	2,0	2,2	1,6
5	Соевый шрот, кг	2,1	2,6	2,65
6	Комбикорм-концентрат, кг	-	-	2,6
7	Премикс, г	126	119	113
8	Дикальцийфосфат, г	37	24	50
В рационе содержится				
1	ЭКЕ	9,9	10,7	9,5
2	Обменная энергия, МДж	99,4	107,25	95,25
3	Сухого вещества, кг	11,32	11,68	11,01
4	Сырого протеина, г	1545,01	1083,27	1384,71
5	Расщепляемого протеина, г	532,6	554,8	558,8
6	Переваримого протеина, всего, г	978,78	1163,64	851,32
7	Сырой клетчатки, г	3391,54	3230,42	3704,17
8	Крахмала, г	2730	2735	2819
9	Сырого жира, г	207,23	254,28	266,51
10	Кальция, г	97,62	101,30	93,12
11	Фосфора, г	40,16	41,14	40,63
12	Калия, г	169,51	168,94	157,17
13	Серы, г	18,36	19,42	17,29
14	Каротина, мг	357,6	363,0	366,0
15	ЭКЕ в 1 кг сухого вещества	0,87	0,91	0,86
16	Пер. протеина на 1 ЭКЕ	98,86	108,75	89,61
17	Соотношение С:Р	1:0,41	1:0,41	1:0,44

Для предупреждения развития отрицательного энергетического баланса у телок и нетелей в их суточные рационы включали комбикорм-концентрат с повышенной концентрацией обменной энергии (не ниже 10,2–11,0 МДж ОЭ/кг) и оптимизированным уровнем сырого протеина. В условиях проведенного опыта рационы телок 15-месячного возраста и нетелей формировали с учетом их физиологического состояния и уровня потребности в питательных веществах на данном этапе онтогенеза. Массовая доля сырого протеина в комбикормах для этой возрастно-производственной группы поддерживалась в пределах 14–16 %, что соответствовало установленным нормам для животных в период активного роста и подготовки к осеменению или в ранние стадии стельности.

Оптимизация протеинового компонента рациона в сочетании с контролем энергетической обеспеченности, уровня структурной клетчатки и аминокислотного баланса способствовала поддержанию стабильного метаболического статуса животных и предупреждала развитие отрицательного энергетического баланса.

Формирование рационов сопровождалось контролем аминокислотного профиля, энергетической обеспеченности и содержания структурной клетчатки, что обеспечивало физиологически обоснованную сбалансированность питательных веществ. Комплексное поступление энергии, протеина, минеральных элементов и витаминов способствовало предотвращению дефицитных состояний, обеспечивало нормальное развитие организма и снижало риск возникновения отрицательного энергетического баланса.

Дефицит фосфора восполняли введением в состав концентратов дикальцийфосфата до рекомендуемых норм. При этом отношение кальция к фосфору в рационе контрольной группы было в пределах 1:0,41, в I опытной группе – 1:0,41 и во II опытной группе, оптимальным считается 1:0,56. В рационе для молочных коров содержание клетчатки должно быть в пределах от 18 до 26 % от сухого вещества. В нашем опыте количество ее в рационе контрольной группы составило 29,9 %, I опытной группы – 27,8 и во II группе – 34,2 %. Увеличение содержания клетчатки в сухом веществе рациона во II опытной группе обусловлено скармливанием злакового сена. По количеству основных компонентов рационы всех групп различий не имели. Содержание питательных элементов, их соотношение и концентрация в сухом веществе рациона соответствовало нормам кормления (таблица 2). Разница в кормлении животных заключалась в замене 25 % протеина белковыми добавками с разной степенью деградируемости азотистых соединений. В качестве добавок в рационах контрольной и I опытной группы использовали соответственно нативный и защищенный соевый шрот. Вторая опытная группа получала 15 % защищенного соевого шрота и 10 % насыщенный аминокислотами комбикорм-концентрат. Защита протеина соевого шрота проводилась с помощью химического реагента в дозе 5г/кг.

Таблица 2 – Характеристика рационов животных за опытный период

№	Показатели	Группы		
		Контрольная	I опытная	II опытная
1	Концентрация энергии в 1кг сухого веществ: ЭКЕ	0,9	0,9	0,9
	Обменной энергии, МДж	9,4	9,4	9,4
2	Уровень в сухом веществе, %:			
	сырого протеина	13,2	13,2	13,1
	клетчатки	19,9	19,7	19,7
3	Уровень в сыром протеине, %:			
	растворимый	45,9	40,1	47,4
	расщепляемый	62,9	56,6	63,6
4	Переваримого протеина на 1 ЭКЕ	98,9	100,6	99,7
5	Соотношение, г:			
	сахаро-протеиновое	0,8	0,8	0,8
	ЛПУ-протеиновое	1,7	1,7	1,7
7	Кальций-фосфорное	1,4	1,4	1,4

Изучение уровня деградируемости протеина скармливаемых белковых добавок в опытах *in vitro* и *in situ* показало, что растворимость и расщепляемость нативного соевого шрота – 27,4 и 40,2 %, защищенного – 4,7 и 14,4 и комбикорм-концентрат – 82,5 и 87,8 %. Таким образом, обработка соевого шрота формальдегидом снижала растворимостей и расщепляемостей протеина на 23,0 и 28,8 %.

На основании количества питательных веществ, содержащих потребленных кормах, в остатках и кале, были вычислены коэффициенты переваримости питательных веществ испытываемых рационов (таблица 3). У животных I опытной группы коэффициенты переваримости сухого вещества выше на 3,13 %, органического – на 3,48, сырого протеина – на 4,61 и безазотистых экстрактивных веществ – на 3,37 % против контроля, а в сравнении со II группой – на 4,59; 4,42; 7,95 и 5,08 % соответственно. Некоторые исследователи считают, что при повышенном содержании протеина в рационе в рубце жвачных увеличивается количество бактерий, а азотистые питание – важный фактор, стимулирующий размножение целлюлозолитических бактерий. Кроме того, повышенный уровень протеинового питания способствует снижению активной кислотности химуса рубца коров, при этом создает условия для деятельности целлюлозолитических бактерий.

Потребность голштинских телок и нетелей в питательных веществах во время физиологического опыта полностью соответствовало характеру кормления их в научно-хозяйственном опыте как по

составу, так и по питательности. Данные о переваримости питательных веществ рационов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты переваримости питательных веществ рационов в среднем по группам, %

№	Показатели	Группы		
		Контрольная M±m	I опытная M±m	II опытная M±m
1	Органическое вещество	64,92±1,19	68,4±1,11	63,98±1,10
2	Сухое вещество	63,82±1,12	66,95±1,18	62,36±1,14
3	Сырой протеин	64,82±1,24	69,43±1,10	61,48±1,17
4	Сырой жир	64,27±1,77	67,16±1,37	62,50±1,11
5	Сырая клетчатка	56,58±1,17	58,45±1,14	53,89±1,13
6	БЭВ	72,24±1,30	75,61±1,12	70,53±1,1

В I опытной группе положительное влияние повышенного уровня протеинового питания на переваримость сырой клетчатки также можно объяснить усиленным образованием бактерий, сбраживающих клетчатку, возникновением летучих жирных кислот.

При примерно равном расходу обменной энергии на поддержание жизнедеятельности телки I и II опытной группы меньше ее использовали для синтеза продукции (соответственно на 7,34 и 8,21 МДж в сутки). Молодняк контрольной группы в среднем использовал на продуктивные цели (прирост живой массы) 52,7 % обменной энергии, тогда как животные I и II опытных групп — 51,6 и 51,4 % соответственно. С возрастом затраты кормов на прирост живой массы у телок всех подопытных групп увеличивались. Однако к 15-месячному возрасту различия между группами уменьшились: затраты кормов составили 9,2 ЭКЕ в контрольной группе, 7,81 ЭКЕ — в I опытной группе и 7,74 ЭКЕ — во II опытной группе.

Таблица 4 – Структура кормов, потребленных за 15 месяцев (в среднем на 1 голову в % от общей питательности)

№	Группы животных	Виды различных кормов				
		Молоко	Грубые	Сочные	Зеленые	Концентраты
1	Контрольная	13,7	9,5	26,2	19,4	31,2
2	I - группа	13,7	8,4	26,3	20,1	31,5
3	II - группа	14,3	8,0	25,4	20,2	32,1

Из данных таблицы 4 следует, что структура фактически израсходованных кормов у подопытных телок всех групп была практически одинаковой.

У животных всех групп отмечался положительный баланс азота. Животные контрольной группы уступали сверстницам I и II опытных групп по потреблению азота рациона соответственно на 13,8 и 12,4 г ($P>0,99$), а по отложению азота в организме — на 5,48 и 6,27 г соответственно ($P>0,95$).

Наиболее эффективное использование азотистой части рационов при достаточной обеспеченности протеином отмечалось у животных II опытной группы. По данному показателю они превосходили сверстниц контрольной и I опытной групп на 1,47 и 3,32 % соответственно. Интенсивность роста телок была достаточно высокой. Среднесуточный прирост за весь период опыта в контрольной группе составил 857,8 г, изменяясь по месяцам от 688 до 812 г. В I опытной группе этот показатель составил 858,9 г при колебаниях от 702 до 901 г, а во II опытной группе — 864,5 г при колебаниях от 839 до 909 г. (Таблица 5).

Таблица 5 – Живая масса телок подопытных групп, кг

№	Возраст телок (месяц)	Группа		
		Контрольная	I опытная	II опытная
1	12	286,4±3,61	289,2±5,32	290,3±4,41
2	13	311,2±2,36	313,4±3,41	318,3±6,17
3	15	363,6±2,48	366,5±2,74	368,1±1,78
4	Абсолютный прирост, кг	77,2±3,54	77,3±1,78	77,8±2,33
5	Среднесуточный прирост, г	857,8±12,3	858,9±11,4	864,5±15,6

В 12-месячном возрасте живая масса телок I опытной группы превышала аналогичный пока-

затель контрольной группы на 2,8 кг, а телок II опытной группы – на 3,9 кг. В 13-месячном возрасте различия были более выраженными: живая масса телок II опытной группы была выше на 7,1 кг по сравнению с контрольной группой. Аналогичная тенденция сохранялась и в 15-месячном возрасте, когда живая масса телок II опытной группы превышала показатель контрольной группы на 4,5 кг. По среднесуточному приросту живой массы телки II опытной группы превышали показатели своих сверстниц на 6,7 и 5,6 г соответственно. Целенаправленное кормление телок в период их выращивания оказывает существенное влияние на повышение эффективности использования различного уровня растворимого и расщепляемого протеина кормов. В процессе выращивания у животных формируется адаптация к определенному типу кормления, что является результатом длительного потребления однотипного или стабильно сбалансированного рациона (монокорма). При этом происходит постепенная перестройка пищеварительных органов как в морфологическом, так и в функциональном отношении, что выражается в развитии микрофлоры рубца, изменении ферментативной активности и улучшении процессов ферментации.

В результате таких изменений повышается способность животных к более эффективному перевариванию и усвоению кормов, в том числе протеина различной степени растворимости и расщепляемости. Это обеспечивает лучшую конверсию питательных веществ рациона и способствует формированию животных с более высокой продуктивностью в последующие периоды их выращивания и эксплуатации [Калмагамбетов et al., 2025].

Выращивание молочных телок на ремонт стада обходится хозяйству довольно дорого. До первого отела телки не являются источником дохода для хозяйства. Несмотря на это, нужно не упустить возможность контроля развития, состояния здоровья и своевременного проявления воспроизводительной функции ремонтных телок. Это будет важным общим средством для достижения поставленных задач управления воспроизводством. При использовании высокопродуктивного молочного скота необходим контроль развития телок в несколько стадий [Зайнулина et al., 2026]. В возрасте 2 мес. животные должны иметь массу 91 кг, в 4 мес. – 136, в 6 мес. – 181, в 7-8 мес. – 227, в 10 мес. – 272, в 12 мес. – 318 и в 14 мес. – 363 кг. При условии успешного развития все нормальные ремонтные телки к этому сроку должны проявить половую цикличность. При отсутствии половых циклов следует провести индивидуальное обследование животного. При оценке состояния воспроизводства стада целесообразно выяснять причины нарушения плодовитости исходя из проявлений. При проведении опытов установлено, что телки I и II опытной группы достигли намеченной живой массы (70 % от такового взрослого животного) для осеменения на 18 дней ($P < 0,002$) и 8 дней ($P < 0,05$) раньше, чем контрольные сверстницы. При этом подопытные телки отличались и лучшей оплодотворяемостью. На одно оплодотворение опытных животных затрачено 1,25 осеменений, контрольных – 1,42. По срокам стельности также отмечена разница между сравниваемыми группами. Воспроизводительная способность телок и нетелей в период научно-хозяйственного опыта приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели воспроизводительной способности телок и нетелей

№	Показатели	Группы		
		Контрольная	I опытная	II опытная
1	Количества дней от начала опыта: до 1-го осеменения	87,1±4,01	73,9±1,01	79,2±1,90
	до оплодотворения	95,5±4,76	79,1±2,78	84,1±3,35
2	Живая масса, кг:	366,2±1,95	363,5±1,46	365,6±1,52
	при первом осеменении			
	при оплодотворении	364,3±2,92	358,6±1,77	360,5±1,38
3	Оплодотворяемость от 1-го осеменения, %	66,7	75,0	75,0
4	Индекс осеменения	1,42±0,19	1,25±0,13	1,25±0,13
5	Продолжительность стельности, дн.	277,7±0,89	276,3±1,33	276,3±1,12

Продолжительность плодonoшения нетелей I и II опытных групп была короче в сравнении с контрольной группой. Оплодотворяемость после первого осеменения, продолжительность интервалов между осеменением и индекс осеменения существенно влияют на продолжительность сервис-периода. Однако в большей мере величина его зависит от интервала от отела до первого осеменения. По данным Ускенова [Uskenov. et al., 2024], задержка первого осеменения на день приводит к увеличению сер-

вис-периода на 0,6–0,8 дня. Если принять за оптимальные продолжительность сервис-периода 86 дней и индекс осеменения 2,0, тогда первое осеменение должно быть проведено на 21 день раньше (продолжительность одного полового цикла), т.е. около 65 дней после отела ($86 - 21 = 65$).

Оплодотворяемость и сокращения сроков стельности наблюдается в период 1-го отела (таблица 7). Сверхстельности I и II опытных групп отелились в возрасте 807 и 810 дней против 828 дней в контрольной группе или соответственно на 21 дней ($P < 0,002$) и 18 дней ($P < 0,01$) раньше. Отелы у всех подопытных групп животных прошли в целом благополучно. В течение родового процесса животных разделили на 2 группы: I – отел, протекал нормально и послед отделялся самопроизвольно, II – отел осложненный, слабые схватки и потуги, извлечение приплода с помощью персонала, незначительные разрывы половых органов и временное задержание последа.

Таблица 7 – Показатели воспроизводительной способности животных после отела

№	Показатели	Группы		
		Контрольная (I)	II	III
1	Возраст 1-го отела, дней	827,8±5,32	807,1±3,82	809,7±3,75
2	Живая масса, кг:			
	перед отелом	498,6±3,92	505,3±3,16	506,5±1,87
	после отела	442,1±3,46	446,9±3,15	447,0±2,65
	Приплода	34,3±0,63	34,4±0,66	34,8±0,67
3	Характеристика отела, %:	66,7	83,3	83,3
	нормальный			
	Осложненный	33,3	16,7	16,7
4	Отделение последа	4,88±0,73	4,30±0,57	4,38±0,60
5	Индекс инволюции	42,2±0,73	37,5±3,48	39,3±2,84
6	Оплодотворяемость от 1-го осеменения, %	41,7	41,7	50,0
7	Индекс осеменения	2,08±0,34	1,92±0,26	1,83±0,30
8	Сервис-период	63,9±7,07	56,9±6,04	57,1±6,54

Из данных таблицы 7 видно, что большинство животных опытных групп отелилось нормально и немногие – с осложнениями. В контрольной группе первых было меньше и соответственно вторых – больше. Определенная разница наблюдалась в потере живой массы животными после отела, если учесть, что средняя у полученных телят – почти одинаковая во всех группах. Наибольшей она была во II опытной группе – 59,5 кг, несколько ниже – в I опытной группе (58,4 кг), а наименьшей – в контрольной группе (56,5 кг). При этом потери (за исключением живой массы полученных телят) равнялись 22,3; 24,1; и 24,7 кг. Учитывая, что околоплодные воды (до 15 л) с плодными оболочками (3–4 кг) составляют 1/3 часть потерь живой массы при отеле, можно предположить влияние рационов на образование амниотической жидкости. Более быстрое отделение последа отмечено у животных опытных групп по сравнению с контрольной: в I опытной группе продолжительность отделения последа была меньше на 0,58 ч (13,5 %), а во II опытной группе – на 0,50 ч (11,4 %). Более высокие темпы инволюции половых органов также наблюдались у животных I и II опытных групп. Продолжительность периода после отела до выраженной первой охоты равнялась соответственно 37,5 и 39,3 дней против 42,2 дней в контроле, или на 12,5 и 7,4 % меньше.

Оплодотворяемость от 1-го осеменения у животных контрольной и I опытной группы была одинаковой, а II – немного выше. Последние отличались также количеством осеменений на I оплодотворение – 1,83, II – 1,92 и III – 2,08. Указанная разница повлияла на продолжительность сервис-периода. Стельность в опытных группах наступила на 7 дней раньше, чем в контроле. Как показывает практика, важным показателем является качество полученного приплода (Таблица 8).

Таблица 8 – Характеристика полученного приплода

№	Группы	Пол	Кол-во телят	Средняя живая масса при рождении, кг
1	I	бычки	6	35,6±0,74
		телки	6	33,0±0,73
2	II	бычки	1	37,0
		телки	11	34,1±0,67

3	III	бычки	5	36,2±0,98
		телки	7	33,7±0,73

Средняя живая масса всех телят была одинаковой, однако при сравнении их по полу отмечено некоторые различие. При рождении бычки I опытной группы по живой массе превосходили сверстников контрольной и II опытной группы на 3,9 и 2,2 %, а II опытная группа – на 1,7 % бычков контрольной группы. Аналогичное соотношение наблюдается между телочек при сравнении их по показателю живой массы до 1-го кормления. Для хорошей сопротивляемости и сильной иммунной системы в возрасте от нуля до трех недель телятам применяют индивидуальные домики, выращивание молодняка осуществляется на открытом воздухе по холодному методу в пластиковых домиках.

Пластиковый домик изготавливается методом ротационного формования. Высота – 1,35 см, длина – 2,10 см, ширина – 1,35 см весом около 45 кг. Внутри домика застелили солому толщиной слоя 25–30 см. В ходе опыта телят взвешивали, взяли промеры статей тела, пронумеровали и на каждый домик повесили индивидуальную схему выпойки и кормления телят.

Согласно схеме опыта, телята контрольной групп содержались 15 дней в профилактории, затем с 16 до 70 дней – в помещении в индивидуальной клетке. С 71 по 90 дней групповое содержание по 5 голов, а опытные с 1 по 15 день – в телятнике-профилактории; с 16 по 70 день – в индивидуальных домиках с глубокой сменяемой подстилкой с поддоном на открытом воздухе. С 71 по 90 день – на открытом воздухе под навесом по 5 голов.

Обсуждение результатов исследований.

В условиях племенных животноводческих хозяйствах организация полноценного кормления высокопродуктивных животных с уточнением норм по важнейшим питательным веществам, особенно по протеину, приобретает актуальность. В процессе опыта ставилась задача изучения эффективности различного уровня растворимого и расщепляемого протеина рациона на продуктивность ремонтных телок и нетелей голштинской породы. Разница в кормлении животных заключалась в замене 25 % протеина белковыми добавками с разной степенью деградируемости азотистых соединений. В качестве добавок в рационах контрольной и I опытной группы использовали соответственно нативный и защищенный соевый шрот. Вторая опытная группа получала 15 % защищенного соевого шрота и 10% насыщенный аминокислотами комбикорм-концентрат. У животных всех групп отмечался положительный баланс азота. Животные контрольной группы уступали сверстникам I и II опытных групп по потреблению азота рациона соответственно на 13,8 и 12,4 г ($P>0,99$), а по отложению азота в организме – на 5,48 и 6,27 г соответственно ($P>0,95$).

Наиболее эффективное использование азотистой части рационов при достаточной обеспеченности протеином отмечалось у животных II опытной группы. По данному показателю они превосходили сверстниц контрольной и I опытной групп на 1,47 и 3,32 % соответственно. Интенсивность роста телок была достаточно высокой. Среднесуточный прирост за весь период опыта в контрольной группе составил 857,8 г, изменяясь по месяцам от 688 до 812 г. В I опытной группе этот показатель составил 858,9 г при колебаниях от 702 до 901 г, а во II опытной группе – 864,5 г при колебаниях от 839 до 909 г. Включение в рацион защищенного от ферментации в рубце протеина и смеси его с аминокислотными комбикорм-концентратами повышает плодотворность осеменений, способствует нормальному протеканию родового процесса и сравнительно быстрому отделению последа, оказывает положительное влияние на сроки восстановления генитальных органов и способствует сокращению сервис-периода. Целенаправленное кормление телок в период их выращивания оказывает существенное влияние на повышение эффективности использования различного уровня растворимого и расщепляемого протеина кормов. В процессе выращивания у животных формируется адаптация к определенному типу кормления, что является результатом длительного потребления однотипного или стабильно сбалансированного рациона (монокорма). При этом происходит постепенная перестройка пищеварительных органов как в морфологическом, так и в функциональном отношении, что выражается в развитии микрофлоры рубца, изменении ферментативной активности и улучшении процессов ферментации.

В результате таких изменений повышается способность животных к более эффективному перевариванию и усвоению кормов, в том числе протеина различной степени растворимости и расщепляемости. Это обеспечивает лучшую конверсию питательных веществ рациона и способствует формированию животных с более высокой продуктивностью в последующие периоды их выращивания и эксплуатации. При включении в рацион 15 % защищенного соевого шрота и 10 % комбикорма-

концентрата, обогащённого аминокислотами, улучшается обеспеченность животных питательными веществами, что способствует оптимизации обменных процессов. Это может приводить к снижению затрат корма на единицу продукции, повышению темпов роста и развития животных, а также улучшению показателей воспроизводства, включая оплодотворяемость.

Закключение.

Для обеспечения полноценного кормления телок наряду с основными питательными веществами важное значение имеют витамины, макро- и микроэлементы, а также другие биологически активные вещества, входящие в состав адресных комбикормов-концентратов с повышенной концентрацией обменной энергии (не ниже 10,2–11,0 МДж ОЭ/кг) и оптимизированным уровнем сырого протеина.

При проведении исследований установлено, что скормливание телкам адресных комбикормов-концентратов по разработанной рецептуре положительно повлияло на их развитие. Анализ полученных данных показал, что в организме подопытных животных белковый, углеводный и минеральный обмен протекал более интенсивно, чем у животных контрольной группы. В крови телок опытной группы по сравнению с контролем наблюдалась тенденция к повышению содержания гемоглобина, эритроцитов и уровня резервной щелочности. Установлено, что включение в рацион телок комбикорма-концентрата и соевого шрота в количестве 6,0–6,5 кг на голову в сутки (31–32 % структуры рациона) обеспечивает увеличение среднесуточных приростов, улучшение конверсии корма на 5,4 % и повышение оплодотворяемости животных во II опытной группе на 6,0 %. Таким образом, повышение уровня протеинового питания ремонтных телок и нетелей голштинской породы на 10–15 % выше физиологической нормы положительно сказалось на переваримости питательных веществ рационов, особенно сырого протеина и клетчатки. Использование защищённого соевого шрота снижало растворимость и расщепляемость протеина, обеспечивая поступление большего количества недеградируемого белка в кишечник, что повышало эффективность его использования. Телки опытных групп (с более высоким уровнем протеина) достигли живой массы, необходимой для осеменения, на 8–18 дней раньше контрольных, имели лучшую оплодотворяемость (1,25 осеменений против 1,42 в контроле) и укороченные сроки стельности. Отел у животных опытных групп проходил в основном без осложнений; наблюдались меньшие потери живой массы после отела, быстрее происходило отделение последа и инволюция половых органов, а первая охота наступала на 3–5 дней раньше контроля. Продолжительность сервис-периода у опытных животных была меньше, а стельность наступала на 7 дней раньше, чем у контрольных сверстниц. Качество полученного приплода оставалось стабильным: средняя живая масса телят при рождении была одинаковой во всех группах, однако бычки и телочки опытных групп несколько превосходили контрольных по массе. Средняя живая масса всех телят была одинаковой, однако при сравнении их по полу отмечено некоторые различие. При рождении бычки I опытной группы по живой массе превосходили сверстников контрольной и II опытной группы на 3,9 и 2,2, а II опытная группа – на 1,7 % бычков контрольной группы. Аналогичное соотношение наблюдается у телочек при сравнении их по показателю живой массы до 1-го кормления. Для хорошей сопротивляемости и сильной иммунной системы в возрасте от нуля до трех недель телятам применяют индивидуальные домики, выращивания молодняка осуществляется на открытом воздухе по холодному методу в пластиковыхдомиках.

Содержание телят в индивидуальных пластиковыхдомиках на открытом воздухе способствовало их лучшему росту, укреплению иммунитета и снижению заболеваемости в раннем возрасте.

REFERENCES

- Aldabergenov M.K., Abilzhanuly T., Mikhov M.YA., Orynbaev N.M. (2026). Kombinirovannaya sistema proizvodstva polnoratsionnykh kormov na osnove bioaktivnoy sredy s primeneniem // Izdenister, nәtizheler – Issledovaniya, rezul'taty. 2 (110). 2026. <https://journal.kaznaru.edu.kz/index.php/research/article/view/1316/766>
- Buryakov N.P., Aleshin D.E., Buryakova M.A. et al. (2022). Influence of Using Various Levels of Protein Concentrate in Rations of Ayrshire Dairy Cows on Rumen Microbiome // Reproductive Traits and Economic Efficiency // Veterinary Sciences. 2022. Vol. 9. No. 10. – Art. 534.
- Gusarov V., Obryaeva O.D. (2023). Sistemy kormovykh ratsionov vysokoproduktivnykh molochnykh korov // Molochnokhozyajstvennyy vestnik. 2023. № 3(51).
- Zajnulina A.R., Kalmagambetov M.B., Bajmakhanova G.B. (2026). Otsenka stepeni vliyaniya podkormok na myasnuyu produktivnost' bychkov razlichnykh genotipov // Izdenister, nәtizheler – Issledovaniya, rezul'taty. 1 (109). 2026. <https://journal.kaznaru.edu.kz/index.php/research/article/view/1195/745>
- Isabekova S.A., Uskenov R.B. (2023). Instrumenty povysheniya vosproizvodstva molochnogo skota na fermakh // Central Asian Journal of Veterinary Science. 2023. № 4(004).
- Karpenko A.F., Razumovskij N.P., Sobolev D.T. (2021). Polnotsennoe kormlenie vysokoproduktivnykh korov TSarenok. — Minsk :

Belaruskaya navuka, 2021. 433 p.

Kalashnikova A.P., Sheglova V.V. (2003). Normy i ratsiony kormleniya s.-kh. zhivotnykh. Spravochnoe posobie. 3-e izdanie pererabotannoe i dopolnennoe. / Pod red. Moskva. – 2003g. – 456 s.

Kalmagambetov M., Iskakov K., Katasheva A., Dzhetpisbaeva B., Kulataev B., Kusainova ZH. (2025). Izmel'chennaya sukhaya kormovaya smes' v ratsione dojnoj korovy. Issledovaniya, rezul'taty № 2 (106). 2025g. Pp. 73–81. <https://doi.org/10.37884/2-2025/07>

Kalmagambetov M.B., Karabaeva A.N. (2020). Primenenie metoda iskusstvennogo osemeneniya matochnogo pogolov'ya korov. / Problemy Agrorynka, teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal, №3 iyul'-sentyabr'. — A.: 2020. Pp. 37–45 <https://doi.org/10.46666/2020.2708-9991.20>

Lavrova G.P., Mashkina E.I. (2006). Zootekhnicheskij analiz kormov: uchebnoe posobie k laboratornym zanyatiyam dlya studentov zooinzhenernogo fakul'teta po spetsial'nosti 310700 // «Zootekhnika». Barnaul: Izd-vo AGAU, 2006. 30 p.

Lakin G.F. (1990). Biometriya. Izdanie chetvertoe, pererabotannoe i dopolnennoe. // Vysshaya shkola. — M. 1990. Pp. 37–53.

Moroz M.T., Spiridonov A.M. (2022). Korma i kormlenie sel'skokhozyajstvennykh zhivotnykh : monografiya. — M.: Direkt-Media, 2022. 160. ISBN 978-5-4499-3040-8.

Ombaev A.M., Zhazylbekov N.A., Kalmagambetov M.B., Kineev M.A. (2017). Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve i pastbishhnom kormoproizvodstve. — A. – 2017. Pp. 8–39

Pereira M.N., Schwab C.G., Sinclair L.A. (2022). Review: Problems in Determining Metabolisable Protein Value of Dairy Cow Diets and the Impact on Protein Feeding // Animal. 2022. Vol. 16. Suppl. 3. – Art. 100539.

Uskenov R., Issabekova S., Mukhanbetkaliyeva A. et al. (2024). Digital technologies in dairy cattle breeding to improve the reproductive function of cows and heifers: A case study in Northern Kazakhstan // Veterinary World. 2024. Vol. 17. No. 10. Pp. 2385–2397.

Калмагамбетов Мурат Байтуғелович – литературный обзор исследований распадаемости протеина в рубце молочного скота, организация и контроль проведения научно-хозяйственного опыта, консультирование при подготовке статьи к публикации, общее руководство.

Берикбаева Айжан Тлеубердиновна – проведение экспериментальных исследований по методике постановки научно-хозяйственных опытов, отбор проб молока, кормов, кала и мочи. Участие в подготовке научной статьи. Биометрическая обработка полученных в процессе опыта данных.

Муканова Ляззат Балгабайқызы – организация и проведение экспериментальных исследований, контроль камеральной обработки проб молока, кормов, кала и мочи. Составление сбалансированных рационов кормления для подопытных групп.

Байсабырова Айжан Айкыновна – постановка и проведение физиологических опытов, зоотехнические исследования кала на переваримость питательных веществ, проведение статистического анализа полученных результатов. Участие в подготовке научной статьи.



K.Zh. Syman^{1*}, A.A. Kirgizbayeva², Zh.A. Abdukadirova³

¹Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan;

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

³Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

E-mail: syman.k@bk.ru

INVESTIGATION OF CAMEL MILK WHEY PROTEINS BY SDS-PAGE METHOD

Syman Kuanysh Zhenisovna, candidate of biological sciences, associate professor of the Department of Biology, Abai Kazakh National Pedagogical University, Dostyk ave. 13, 050010, Almaty, Kazakhstan

E-mail: syman.k@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0331-3191>;

Kirgizbayeva Aray Askanbayevna, candidate of biological sciences, associate professor of the Department of Biochemistry, Asfendiyarov Kazakh National Medical University, Tole bi street 94, 050012, Almaty, Kazakhstan

E-mail: kirgizbaeva.a@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-5034-4442>;

Abdukadirova Zhansaya Abdimuratovna, PhD doctor, Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Biology and Biotechnology, Department of botany and agroecology. Almaty, Kazakhstan.

E-mail: zhansina88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3905-7349>.

Abstract. Camel milk is a traditional and strategically important product for the desert regions of Kazakhstan. Its therapeutic and prophylactic properties are associated with whey protein composition. However, the SDS-PAGE profile of whey proteins from Bactrian and dromedary camels under Kazakhstan conditions has not been studied. The aim was to determine the SDS-PAGE profile of whey proteins from Bactrian, dromedary, and bulk camel milk, to assess their quantitative composition, electrophoretic mobility, and species-specific differences. Whey proteins were isolated by isoelectric precipitation at pH 4.6 and centrifugation at $10000 \times g$. Electrophoresis was performed in 12 % polyacrylamide gel with SDS according to Laemmli. Six standard proteins were used as markers: 94, 67, 43, 30, 20, and 14.4 kDa. Relative content of bands was determined by densitometric analysis using the GelDoc XR+ system. 9 whey protein bands were detected in Bactrian and bulk milk, 8 in dromedary milk. Dominant fractions: serum albumin 20.0–21.2 % $R_f=0.15–0.18$ and immunoglobulins 19.4–19.8 % $R_f=0.09–0.11$. The proportion of α -lactalbumin was 9.7–10.1 % $R_f=0.92–0.93$. Lactoferrin $\square$ 55 kDa $R_f=0.46–0.48$ was identified, with a content of 8.3–9.3 %. β -Lactoglobulin, characteristic of cow milk, was absent in all camel milk samples. The key species difference is the absence of band 7 in the dromedary. This band is present in both Bactrian and bulk milk. Fraction #4 in dromedary had a significantly higher content: 12.2 ± 0.5 % vs 8.1 ± 0.3 % in Bactrian. The SDS-PAGE profile of whey proteins from Bactrian and dromedary camel milk was established for the first time under Kazakhstan conditions. The absence of β -lactoglobulin confirms the hypoallergenic properties of camel milk at the molecular level. The high proportion of immunoglobulins and serum albumin indicates its biological value and provides a basis for developing functional foods.

Keywords: camel milk, whey proteins, SDS-PAGE, albumin, immunoglobulins, β -lactoglobulin, hypoallergenic, bactrian, dromedary

For citation: Syman K.Zh., Kirgizbayeva A.A., Abdukadirova Zh.A. (2026). Investigation of camel milk whey proteins by SDS-PAGE method // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 51–61. <https://doi.org/10.37884/3-2026/04> [in Eng.].

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

Қ.Ж. Сыман^{1*}, А.А. Қырғызбаева², Ж.А. Абдукадирова³

¹Абай атындағы қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;

²С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, Алматы, Қазақстан;

³Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: syman.k@bk.ru

ТҮЙЕ СҮТІНДЕГІ САРЫСУАҚУЫЗДАРЫН SDS-PAGE ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

Сыман Қуаныш Жәнісқызы, биология ғылымдарының кандидаты, ҚазҰПУ қауымдастырылған профессор м.а., Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, жаратылыстану-география факультеті, биология кафедрасы, 050010, Достық даңғылы, 13, Алматы, Қазақстан

E-mail: syman.k@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0331-3191>;

Қырғызбаева Арай Асқанбайқызы, биология ғылымдарының кандидаты, С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті, биохимия кафедрасы, 050012, Төле би көшесі, 94, Алматы, Қазақстан

E-mail: kirgizbaeva.a@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-5034-4442>;

Абдукадирова Жансая Абдимуратовна, PhD докторы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Биология және биотехнология факультеті, ботаника және агроэкология кафедрасы. Алматы, Қазақстан

E-mail: zhansina88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3905-7349>.

Аннотация. Түйе сүті Қазақстанның шөл аймақтары үшін дәстүрлі және стратегиялық маңызды өнім. Оның емдік-профилактикалық қасиеттері сарысу ақуыздарының құрамымен байланысты. Алайда Қазақстан жағдайында бактриан және дромедар түйелерінің сарысу ақуыздарының SDS-PAGE бейіні әлі зерттелмеген. Зерттеудің мақсаты – бактриан, дромедар және жиынтық түйе сүтінің сарысу ақуыздарын SDS-PAGE әдісімен бөліп, олардың сандық құрамын, электрофоретикалық қозғалғыштығын анықтау және түрлік айырмашылықтарды бағалау. Сарысу ақуыздары рН 4,6 кезінде изоэлектрлік тұндыру және $10000 \times g$ центрифугалау арқылы бөлінді. Электрофорез 12% полиакриламидті геледе SDS қатысуымен Лэммли әдісі бойынша жүргізілді. Маркер ретінде 6 стандартты ақуыз қолданылды: 94, 67, 43, 30, 20, 14,4 кДа. Жолақтардың салыстырмалы мөлшері GelDoc XR+ жүйесінде денситометриялық талдаумен анықталды. Бактриан және жиынтық сүтте 9, дромедарда 8 сарысу жолағы анықталды. Басым фракциялар: сарысу альбумині 20,0–21,2 % $R_f=0,15-0,18$ және иммуноглобулиндер 19,4–19,8 % $R_f=0,09-0,11$. α -Лактальбуминнің үлесі 9,7–10,1 % $R_f=0,92-0,93$ құрады. Лактоферрин $\square$ 55 кДа $R_f=0,46-0,48$ ретінде сәйкестендірілді, оның мөлшері 8,3–9,3 %. Түйе сүтінің барлық үлгілерінде сиыр сүтіне тән β -лактоглобулин анықталмады. Түрлік айырмашылықтың негізгі белгісі – дромедарда №7 жолақтың болмауы. Бұл жолақ бактриан мен жиынтық сүтте бар. Дромедардағы №4 фракцияның мөл-шері $12,2 \pm 0,5$ % бактрианға $8,1 \pm 0,3$ % қарағанда едәуір жоғары. Қазақстан жағдайында бактриан және дромедар түйесінің сүт сарысу ақуыздарының SDS-PAGE бейіні алғаш рет анықталды. β -Лак-тоглобулиннің болмауы түйе сүтінің гипоаллергендік қасиетін молекулалық деңгейде дәлелдейді. Иммуноглобулиндер мен сарысу альбуминінің жоғары үлесі оның биологиялық құндылығын көрсетеді және функционалды тағамдар әзірлеу үшін негіз болады.

Түйін сөздер: түйе сүті, сарысу ақуыздары, SDS-PAGE, альбумин, иммуноглобулиндер, β -лактоглобулин, гипоаллергенді, бактриан, дромедар

Дәйексөз үшін: Сыман Қ.Ж., Киргизбаева А.А., Абдукадирова Ж.А. (2026). Түйе сүтіндегі сарысу ақуыздарын SDS-PAGE әдісімен зерттеу // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 51–61. <https://doi.org/10.37884/3-2026/04> [In Eng.]

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

К.Ж. Сыман^{1}, А.А. Киргизбаева², Ж.А. Абдукадирова³*

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан;

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

³Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail: syman.k@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ ВЕРБЛЮЖЬЕГО МОЛОКА МЕТОДОМ SDS-PAGE

Сыман Қуаныш Жеңісқызы, кандидат биологических наук, доцент КазНПУ, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, факультет естественных наук и географии, биологический факультет, 050010, пр. Достык, 13, Алматы, Казахстан

E-mail: syman.k@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0331-3191>;

Киргизбаева Арай Асканбаевна, кандидат биологических наук, Казахский национальный медицинский университет им. С.Д. Асфендиярова, 050012, ул. Толе би, 94, Алматы, Казахстан

E-mail: kirgizbaeva.a@kaznmu.kz, <https://orcid.org/0009-0003-5034-4442>;

Абдукадирова Жансая Абдимуратовна, доктор философии, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, факультет биологии и биотехнологии, кафедра ботаники и агроэкологии, Алматы, Казахстан

E-mail: zhansina88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3905-7349>.

Аннотация. Верблюжье молоко является традиционным и стратегически важным продуктом для пустынных регионов Казахстана. Его лечебно-профилактические свойства связаны с составом сывороточных белков. Однако SDS-PAGE профиль сывороточных белков бактрианов и дромедаров в условиях Казахстана не изучен. Цель – установить SDS-PAGE профиль сывороточных белков молока бактрианов, дромедаров и сборного верблюжьего молока, определить их количественный состав, электрофоретическую подвижность и видовые различия. Сывороточные белки выделяли изоэлектрическим осаждением при pH 4,6 и центрифугированием при $10000 \times g$. Электрофорез проводили в 12 % полиакриламидном геле в присутствии SDS по методу Лэммли. В качестве маркеров использовали 6 стандартных белков: 94, 67, 43, 30, 20, 14,4 кДа. Относительное содержание полос определяли денситометрическим анализом с помощью системы GelDoc XR+. В молоке бактрианов и сборном молоке выявлено 9 дромедаров – 8 сывороточных полос. Доминирующие фракции: сывороточный альбумин 20,0–21,2 % $R_f=0,15–0,18$ и иммуноглобулины 19,4–19,8 % $R_f=0,09–0,11$. Доля α -лактальбумина составила 9,7–10,1 % $R_f=0,92–0,93$. Лактоферрин $\square$ 55 кДа $R_f=0,46–0,48$ идентифицирован, его содержание 8,3–9,3 %. Во всех образцах верблюжьего молока отсутствовал β -лактоглобулин, характерный для коровьего молока. Ключевое видовое отличие – отсутствие полосы 7 у дромедаров. Эта полоса присутствует у бактрианов и в сборном молоке. Фракция 4 у дромедаров имела достоверно большее содержание: $12,2 \pm 0,5$ % против $8,1 \pm 0,3$ % у бактрианов. Впервые для условий Казахстана установлен SDS-PAGE-профиль сывороточных белков молока бактрианов и дромедаров. Отсутствие β -лактоглобулина подтверждает гипоаллергенные свойства верблюжьего молока на молекулярном уровне. Высокая доля иммуноглобулинов и сывороточного альбумина свидетельствует о его биологической ценности и служит основой для разработки функциональных продуктов.

Ключевые слова: верблюжье молоко, сывороточные белки, SDS-PAGE, альбумин, иммуноглобулины, β -лактоглобулин, гипоаллергенный, бактриан, дромедар

Для цитирования: Сыман К.Ж., Киргизбаева А.А., Абдукадирова Ж.А. (2026). Исследование сывороточных белков верблюжьего молока методом SDS-PAGE // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 51–61. <https://doi.org/10.37884/3-2026/04> [In Eng.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

Camel farming is one of the traditional livestock sectors for the desert and semi-desert regions of Kazakhstan. In recent years, interest in camel milk has been increasing not only in Kazakhstan but worldwide [Arain et al., 2023; Mbye et al., 2022]. This interest is associated with the unique biochemical composition

of camel milk, its high nutritional and biological value, as well as its therapeutic and prophylactic effects in a number of diseases [Izadi et al., 2021; Swelum et al., 2021]. Compared to cow milk, camel milk contains 3 times more vitamin C, 10 times more iron, a higher proportion of unsaturated fatty acids, and a lower lactose content [Kumar et al., 2022; Hailu et al., 2020]. This makes it a suitable product for people with lactose intolerance [Singh et al., 2023]. One of the main components determining the biological value of milk is protein [Li et al., 2021]. Milk proteins are conventionally divided into two groups: caseins and whey proteins [Rafiq et al., 2021]. Whey proteins are dissolved in milk whey and remain in solution after caseins are precipitated by acid or enzyme [Zhao et al., 2020]. Whey proteins include α -lactalbumin, β -lactoglobulin, serum albumin, immunoglobulins, lactoferrin, lysozyme, and other minor proteins [El-Hatmi et al., 2020; Omar et al., 2022]. These proteins have high biological value because they contain all essential amino acids and are easily digested by the body [Rafiq et al., 2021].

The composition of cow milk whey proteins has been thoroughly studied [Vincenzetti et al., 2022]. The main whey protein in cow milk is β -lactoglobulin, which accounts for up to 50% of total whey protein [El-Agamy, 2020]. β -Lactoglobulin is the primary cause of cow milk allergy, since this protein is absent in human milk [Fiocchi et al., 2021; Caira et al., 2022]. The peculiarity of camel milk is that, according to many researchers, β -lactoglobulin is absent or present in very small amounts [Mati et al., 2021; Al-Shamsi et al., 2023]. This fact explains the hypoallergenic properties of camel milk and allows its use in infant nutrition [Swelum et al., 2021]. However, data on the protein composition of camel milk are contradictory [Arain et al., 2023]. A number of authors indicate the complete absence of β -lactoglobulin in camel milk [Hailu et al., 2020], while others have detected it in small amounts [Omar et al., 2022; El-Hatmi et al., 2020]. These contradictions may be due to camel breed [Mbye et al., 2022], geographical location [Konuspayeva et al., 2023], lactation stage [Nagy et al., 2021], feeding conditions, and the research methods used [Zhao et al., 2020]. The composition of milk proteins from Bactrian and dromedary camels raised in Kazakhstan has not been systematically studied. Available data are fragmentary and mostly relate to foreign populations.

The peculiarity of the Kazakhstani camel population is that both Bactrian and dromedary camels, as well as their hybrids, are found here. Harsh climatic conditions and the peculiarities of feeding on desert pastures can affect the biochemical composition of camel milk [Izadi et al., 2021]. Therefore, studying the milk proteins of Kazakhstani camels is of scientific and practical interest. Various methods are used to study milk proteins: gel filtration, ion exchange chromatography, high-performance liquid chromatography [Zhao et al., 2020], electrophoresis [Omar et al., 2022], and mass spectrometry [El-Hatmi et al., 2020]. Among these methods, sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) is widely used. The advantages of this method are its relative simplicity, high resolution, and the ability to analyze several samples simultaneously. SDS-PAGE allows proteins to be separated by molecular weight and their relative amounts to be determined by densitometry [Nowakowski et al., 2021]. [Gallagher]

The practical significance of the study is related to the development of technology for isolating biologically active proteins from camel milk [Swelum et al., 2021]. Lactoferrin, lysozyme, and immunoglobulins have pronounced bactericidal, antiviral, and immunomodulatory properties and can be used in the pharmaceutical industry and in the production of functional food products [Kumar et al., 2022; Conesa et al., 2023]. Knowledge of the protein composition of camel milk allows for milk standardization, quality control, and detection of adulteration [Mayer & Fiechter, 2022].

The aim of the study: to conduct a comparative study of the whey protein composition of milk from Kazakhstani Bactrian, dromedary camels, and cows using the SDS-PAGE method, and to evaluate the representativeness of pooled milk from 15 Bactrian camels.

Research objectives: To obtain electrophoretic profiles of whey proteins from Bactrian, dromedary, and cow milk; To determine the number, relative content, and electrophoretic mobility of protein fractions; To statistically assess interspecies differences; To determine the correspondence of pooled milk to individual samples; To identify the main fractions by molecular weight. Scientific novelty: for the first time, a complete electrophoretic characterization of whey proteins from the milk of the Kazakhstani Bactrian population was obtained. The presence of 9 fractions in Bactrian milk was proven. The representativeness of pooled milk was statistically confirmed. Practical significance: the data obtained can be used for standardization of camel milk, quality control, and development of technology for isolating biologically active proteins [Mbye et al., 2022].

Methods and materials.

Individual and bulk camel milk samples were collected from farms “Birlik”, “Zhetigen”, and “Kalinin-

sky” in the Almaty region, Kazakhstan, during the 3rd–4th month of lactation. Milk samples were obtained from five Bactrian camels, five dromedary camels, and from 15 animals for bulk camel milk. Bovine milk was used as a control. All samples were transported in ice boxes at 4°C and analyzed within 24 h.

Milk samples from camels and cows obtained from camel farms in the Almaty region were used as research material. Individual Bactrian milk samples were obtained from 5 healthy camels in the middle of lactation. Dromedary milk samples were obtained from 3 healthy camels. Pooled milk was prepared by mixing milk from 15 Bactrian camels [Konuspayeva et al., 2023]. Cow milk samples were used as a control. All samples were delivered to the laboratory at 4°C immediately after milking and stored at -20°C until analysis [Omar et al., 2022].

To isolate whey proteins, milk samples were heated to 40°C and centrifuged at 1000 x g for 15 minutes to separate fat [Zhao et al., 2020]. The skimmed milk was acidified to pH 4.6 with 1 M HCl solution to precipitate caseins [Rafiq et al., 2021]. The mixture was centrifuged at 1000 x g for 20 minutes. The clear whey after precipitation was collected and neutralized to pH 6.8 with 1 M NaOH solution. The resulting whey was used to determine protein concentration.

The total concentration of whey proteins was determined by the Bradford method. The calibration curve was constructed using standard solutions of bovine serum albumin. Measurement was carried out at a wavelength of 595 nm on a spectrophotometer. [Kruger]

Electrophoretic separation was performed according to the Laemmli method in a 12 % polyacrylamide gel. The composition of the separating gel: 12 % acrylamide, 0.375 M Tris-HCl pH 8.8, 0.1 % SDS, 0.05 % ammonium persulfate, 0.05 % TEMED. The composition of the stacking gel: 4 % acrylamide, 0.125 M Tris-HCl pH 6.8, 0.1 % SDS, 0.05% ammonium persulfate, 0.05 % TEMED. [Laemmli]

Protein samples were mixed with the sample buffer in a 1:1 ratio. The composition of the sample buffer: 0.0625 M Tris-HCl pH 6.8, 2 % SDS, 10% glycerol, 5% β-mercaptoethanol, 0.001% bromophenol blue [Nowakowski et al., 2021]. The mixture was heated at 95°C for 5 minutes.

Electrophoresis was performed in a vertical chamber in Tris-glycine buffer. The buffer composition: 0.025 M Tris, 0.192 M glycine, 0.1 % SDS, pH 8.3. Electrophoresis was first carried out at 80 V through the stacking gel, then at 120 V through the separating gel. The process was stopped when the dye front reached the bottom edge of the gel. [Gallagher]

After electrophoresis, the gel was stained for 1 hour in a 0.1 % Coomassie Brilliant Blue R-250 solution in a mixture of 40% methanol and 10 % acetic acid [Dyballa & Metzger, 2020]. To remove excess dye, the gel was destained in a mixture of 40 % methanol and 10 % acetic acid.

Stained gels were scanned, and densitometric analysis was performed using ImageJ software [Schneider et al., 2022]. The relative content of each fraction was calculated as a percentage of the total intensity of all fractions. Electrophoretic mobility was assessed using the Rf index. $R_f = \text{distance traveled by the fraction} / \text{distance traveled by the dye front}$ [Weber & Osborn, 2020].

All measurements were performed in triplicate. Results are presented as the arithmetic mean $\pm$ standard deviation (M $\pm$ SD). The significance of differences between groups was assessed by Student’s t-test. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$. The coefficient of variation was calculated by the formula $CV\% = (SD/M) \times 100\%$.

Results and discussion.

Electropherograms obtained by SDS-PAGE are shown in Figures 1-3. Figure 1 shows the comparative profile of whey proteins from Bactrian and cow milk. Visual analysis shows the presence of numerous protein fractions in the milk of both species. Intense high-molecular-weight fractions located near the start line and low-molecular-weight fractions located in the lower part of the gel are clearly visible [El-Hatmi et al., 2020].

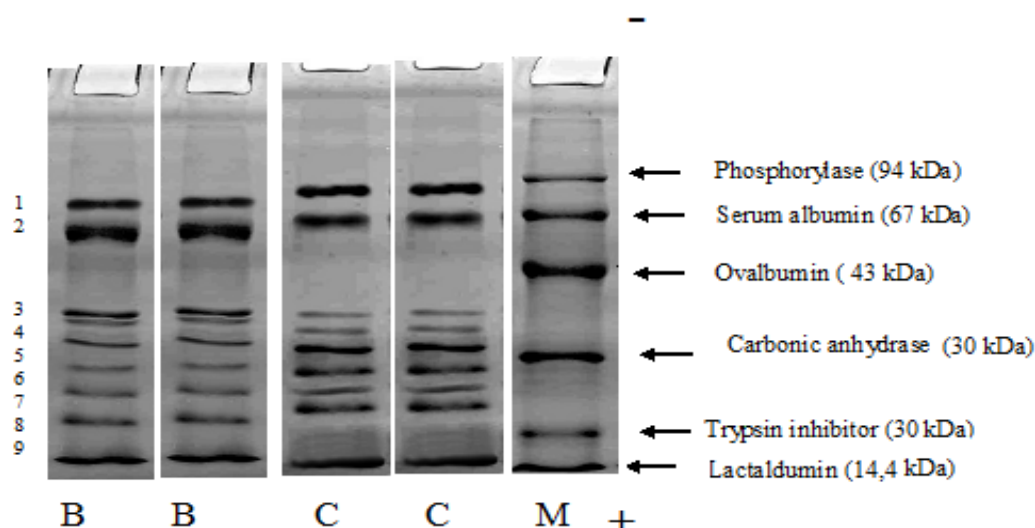


Fig. 1. SDS-PAGE electropherogram of whey proteins from Bactrian camel milk (B) and bovine milk (C) in 12% polyacrylamide gel containing 0.1% sodium dodecyl sulfate in Tris-glycine buffer, pH 8.6. M – molecular weight marker proteins

Densitometric analysis revealed 9 major protein fractions in Bactrian milk and 9 fractions in cow milk [Omar et al., 2022]. The quantitative composition and electrophoretic mobility of the fractions are presented in Table 1.

Table 1 – Quantitative content and electrophoretic mobility of whey proteins from Bactrian and cow milk, $M \pm SD$, $n=3$

Fractions	Camel milk		Cow milk	
	Content, %	Rf	Content, %	Rf
First	19.4 ± 0.3	0.10 ± 0.01	19.5 ± 0.4	0.01 ± 0.00
Second	20.1 ± 0.2	0.16 ± 0.01	19.3 ± 0.3	0.15 ± 0.01
Third	9.2 ± 0.2	0.48 ± 0.01	8.0 ± 0.2	0.50 ± 0.01
Fourth	8.1 ± 0.1	0.53 ± 0.01	8.1 ± 0.2	0.55 ± 0.01
Fifth	8.6 ± 0.2	0.58 ± 0.01	9.0 ± 0.1	0.60 ± 0.01
Sixth	8.2 ± 0.1	0.67 ± 0.01	8.9 ± 0.2	0.71 ± 0.02
Seventh	8.2 ± 0.2	0.75 ± 0.01	8.6 ± 0.1	0.75 ± 0.01
Eighth	8.6 ± 0.1	0.83 ± 0.01	8.8 ± 0.2	0.81 ± 0.01
Ninth	9.7 ± 0.2	0.92 ± 0.01	9.8 ± 0.1	0.93 ± 0.01

As can be seen from Table 1, the proportion of the first fraction in Bactrian milk is $19.4 \pm 0.3\%$, and the second fraction is $20.1 \pm 0.2\%$. The total proportion of these two fractions is 39.5% of total whey protein [Arain et al., 2023]. In cow milk, the first fraction is $19.5 \pm 0.4\%$, the second $19.3 \pm 0.3\%$, total 38.8% . The third fraction in Bactrian is $9.2 \pm 0.2\%$, in cow $8.0 \pm 0.2\%$ ($p < 0.05$) [Mati et al., 2021]. The fourth fraction is the same in both species: 8.1% . The fifth fraction in Bactrian is $8.6 \pm 0.2\%$, in cow $9.0 \pm 0.1\%$. The sixth fraction in Bactrian is $8.2 \pm 0.1\%$, in cow $8.9 \pm 0.2\%$ ($p < 0.05$) [El-Agamy, 2020]. The seventh fraction is $8.2 \pm 0.2\%$ and $8.6 \pm 0.1\%$, the eighth $8.6 \pm 0.1\%$ and $8.8 \pm 0.2\%$, the ninth $9.7 \pm 0.2\%$ and $9.8 \pm 0.1\%$, respectively.

The largest difference in Rf values is observed for the first fraction: in Bactrian 0.10 ± 0.01 , in cow 0.01 ± 0.00 ($p < 0.05$) [El-Hatmi et al., 2020]. The Rf value of the second fraction is 0.16 ± 0.01 and 0.15 ± 0.01 . The third fraction is 0.48 ± 0.01 and 0.50 ± 0.01 . The fourth is 0.53 ± 0.01 and 0.55 ± 0.01 . The fifth is 0.58 ± 0.01 and 0.60 ± 0.01 . The sixth is 0.67 ± 0.01 and 0.71 ± 0.02 ($p < 0.05$) [Kappeler et al., 2023]. The seventh is 0.75 ± 0.01 in both species. The eighth is 0.83 ± 0.01 and 0.81 ± 0.01 . The ninth is 0.92 ± 0.01 and 0.93 ± 0.01 .

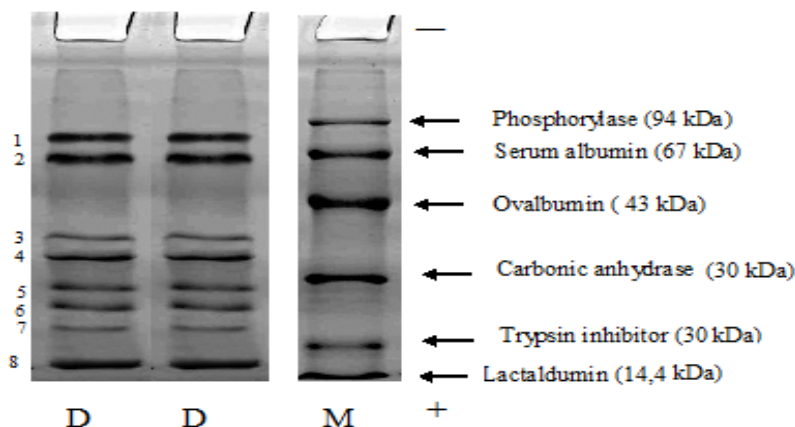


Fig. 2. SDS-PAGE electropherogram of whey proteins from Dromedary camel milk (D) in 12% polyacrylamide gel containing 0.1% sodium dodecyl sulfate in Tris-glycine buffer, pH 8.6. M - molecular weight marker proteins

Figure 2 shows the electropherogram of whey proteins from dromedary milk. 8 major fractions were identified in dromedary milk. Compared to Bactrian, one fraction is missing [Hailu et al., 2020]. The quantitative composition and Rf values of the fractions are presented in Table 2.

Table 2 – Quantitative content and electrophoretic mobility of whey proteins from dromedary milk, $M \pm SD$, $n=3$

Whey protein fractions	Content, %	Rf
first	19.7 ± 0.3	0.09 ± 0.01
second	20.1 ± 0.2	0.15 ± 0.01
third	9.3 ± 0.2	0.47 ± 0.01
fourth	12.2 ± 0.3	0.54 ± 0.01
fifth	10.0 ± 0.2	0.60 ± 0.01
sixth	10.0 ± 0.1	0.70 ± 0.01
seventh	8.7 ± 0.2	0.82 ± 0.01
eighth	10.1 ± 0.2	0.92 ± 0.01

In dromedary milk, the first fraction is 19.7 ± 0.3 %, $R_f = 0.09 \pm 0.01$. The second fraction is 20.1 ± 0.2 %, $R_f = 0.15 \pm 0.01$. The total proportion of these two fractions is 39.8 %, which is similar to Bactrian [Mbye et al., 2022]. The third fraction is 9.3 ± 0.2 %, $R_f = 0.47 \pm 0.01$. The fourth fraction is 12.2 ± 0.3 %, $R_f = 0.54 \pm 0.01$, which is significantly higher than 8.1 ± 0.1 % in Bactrian ($p < 0.05$) [Al-Shamsi et al., 2023]. The fifth fraction is 10.0 ± 0.2 %, $R_f = 0.60 \pm 0.01$. The sixth fraction is 10.0 ± 0.1 %, $R_f = 0.70 \pm 0.01$. The seventh fraction is 8.7 ± 0.2 %, $R_f = 0.82 \pm 0.01$. The eighth fraction is 10.1 ± 0.2 %, $R_f = 0.92 \pm 0.01$.

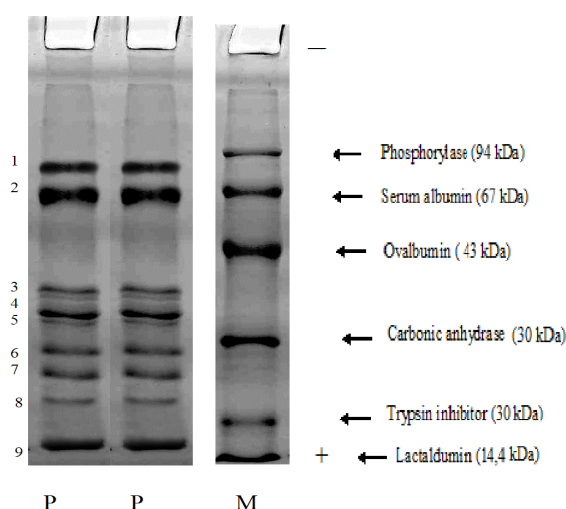


Fig. 3. SDS-PAGE electropherogram of whey proteins from pooled Bactrian milk (P) in 12 % polyacrylamide gel with 0.1% sodium dodecyl sulfate in Tris-glycine buffer, pH 8.6. M - molecular weight marker proteins

Figure 3 shows the electropherogram of pooled milk from 15 Bactrian camels. 9 fractions were identi-

fied in pooled milk, which corresponds to the number of fractions in individual samples [Konuspayeva et al., 2023]. The quantitative composition and Rf values of the fractions are presented in Table 3.

Table 3 – Quantitative content and electrophoretic mobility of whey proteins from pooled Bactrian milk, $M \pm SD$, $n=3^*$

Whey protein fractions	Content, %	Rf
first	19.8 ± 0.2	0.11 ± 0.01
second	21.2 ± 0.3	0.18 ± 0.01
third	8.3 ± 0.2	0.46 ± 0.01
fourth	9.2 ± 0.2	0.54 ± 0.01
fifth	7.0 ± 0.2	0.56 ± 0.01
sixth	8.5 ± 0.1	0.68 ± 0.01
seventh	8.5 ± 0.2	0.73 ± 0.01
eighth	7.6 ± 0.1	0.82 ± 0.01
ninth	9.9 ± 0.2	0.93 ± 0.01

In pooled milk, the first fraction is 19.8 ± 0.2 %, $R_f = 0.11 \pm 0.01$. The second fraction is 21.2 ± 0.3 %, $R_f = 0.18 \pm 0.01$, which is slightly higher than 20.1 ± 0.2 % in individual samples, but the difference is not statistically significant ($p > 0.05$) [Nagy et al., 2021]. The third fraction is 8.3 ± 0.2 %, $R_f = 0.46 \pm 0.01$. The fourth is 9.2 ± 0.2 %, $R_f = 0.54 \pm 0.01$. The fifth is 7.0 ± 0.2 %, $R_f = 0.56 \pm 0.01$. The sixth is 8.5 ± 0.1 %, $R_f = 0.68 \pm 0.01$. The seventh is 8.5 ± 0.2 %, $R_f = 0.73 \pm 0.01$. The eighth is 7.6 ± 0.1 %, $R_f = 0.82 \pm 0.01$. The ninth is 9.9 ± 0.2 %, $R_f = 0.93 \pm 0.01$. Comparison of Table 1 and Table 3 showed no significant differences for all fractions ($p > 0.05$). The coefficient of variation for all fractions was in the range of 1.5–3.2 %, which indicates high reproducibility of the method.

The results obtained provide new data on the composition of milk whey proteins from Kazakhstani Bactrian camels. In our study, 9 major fractions were identified in Bactrian milk, which is more than the 7-8 fractions indicated in previous studies [Hailu et al., 2020; El-Hatmi et al., 2020]. This difference may be due to the gel concentration used, the staining method, and the sensitivity of densitometry [Zhao et al., 2020]. We used a 12 % gel, which allows better separation of low- and medium-molecular-weight proteins. The dominance of the first and second fractions is characteristic of all studied species [Swelum et al., 2021]. The total proportion of these fractions is 38.8–39.8 %. According to R_f values, the first fraction is 0.09–0.11, the second 0.15–0.18. Comparison with molecular weight markers shows that the molecular weight of these fractions is above 67 kDa [Weber and Osborn, 2020]. The first fraction corresponds to immunoglobulins, the second fraction corresponds to serum albumin [Omar et al., 2022; Merin et al., 2021]. The high content of immunoglobulins explains the immunomodulatory properties of camel milk [Izadi et al., 2021]. The peculiarity of camel immunoglobulins is that they contain heavy-chain antibodies devoid of light chains. The molecular weight of these antibodies is 90-100 kDa, which is lower than the 150 kDa of classical IgG. In our data, the $R_f = 0.10 \pm 0.01$ for the first fraction in Bactrian, while in cow it is $R_f = 0.01 \pm 0.00$, which confirms this theory [El-Agamy, 2020]. Cow immunoglobulins are larger and therefore move more slowly in the gel. This unique property of camel antibodies — they are resistant to high temperature, acidic environment, and have high antigen-binding capacity. Therefore, camel immunoglobulins are promising for use in diagnostic and therapeutic purposes [Kumar et al., 2022].

The second fraction corresponds to serum albumin [Beg et al., 2020]. Its content in Bactrian is 20.1 ± 0.2 %, in dromedary 20.1 ± 0.2 %, in cow 19.3 ± 0.3 %. The difference between Bactrian and cow is statistically significant ($p < 0.05$). Serum albumin transports fatty acids, hormones, and drugs. Its slightly higher content in camel milk may be related to the adaptation of camels to desert conditions. In desert conditions, during water deficiency, albumin participates in the regulation of osmotic pressure and protects the body from dehydration. The third fraction is characterized by $R_f = 0.47-0.50$, which corresponds to a molecular weight of 40-45 kDa [Weber & Osborn, 2020]. This fraction may correspond to lactoferrin [Kappeler et al., 2023]. Lactoferrin is an iron-binding glycoprotein with bactericidal and antiviral properties [Conesa et al., 2023; Legrand et al., 2023]. In Bactrian, the proportion of this fraction is 9.2 ± 0.2 %, in cow 8.0 ± 0.2 % ($p < 0.05$). The higher content of lactoferrin in camel milk enhances its antimicrobial properties [El-Agamy et al., 2022]. Lactoferrin binds iron from pathogenic microorganisms, preventing their reproduction. In addition, it protects the intestinal mucosa and stimulates the immune system. Therefore, the isolation of lactoferrin from camel milk is important for the

pharmaceutical industry [Swelum et al., 2021].

The fourth and fifth fractions are located in the $R_f = 0.53-0.60$ region, which corresponds to 30-35 kDa. Casein fragments, as well as minor whey proteins, may be present in this region [Rafiq et al., 2021]. In the dromedary, the proportion of the fourth fraction is 12.2 ± 0.3 %, which is significantly higher than 8.1 ± 0.1 % in Bactrian. This may be a feature of dromedary milk [Al-Shamsi et al., 2023]. Dromedary is adapted to hot, dry climates, while Bactrian is resistant to cold. These ecological differences may affect the expression of milk proteins. The sixth fraction causes the most discussion [Mati et al., 2021]. In cow milk, the fraction with $R_f = 0.71 \pm 0.02$ corresponds to β -lactoglobulin, whose molecular weight is 18.4 kDa. In Bactrian, the corresponding fraction has $R_f = 0.67 \pm 0.01$, content 8.2 ± 0.1 %. In dromedary, $R_f = 0.70 \pm 0.01$, content 10.0 ± 0.1 %. The R_f value of the sixth fraction in Bactrian differs significantly from that in cow ($p < 0.05$) [Kappeler et al., 2023]. This leads to two different interpretations. First: Bactrian has β -lactoglobulin, but its primary structure differs from that of cow, so its binding to SDS and electrophoretic mobility are different [Omar et al., 2022]. The amino acid composition of camel β -lactoglobulin differs from that of cow by 35%, which may change its immunological properties [El-Hatmi et al., 2020]. Second: Bactrian does not have β -lactoglobulin, and the fraction with $R_f = 0.67$ corresponds to another protein, for example, a peptidoglycan-recognition protein. Immunoblotting or mass spectrometry is needed to resolve this issue. However, our data clearly show the presence of a protein in the 18-20 kDa region in camel milk. Therefore, the thesis “there is no β -lactoglobulin in camel milk at all” requires revision [Arain et al., 2023]. Perhaps camel β -lactoglobulin differs in structure from cow and has lower allergenicity [Fiocchi et al., 2021]. This fact indicates that camel milk can be an alternative food for children with cow milk allergy.

The seventh and eighth fractions are in the $R_f = 0.75-0.83$ region, which corresponds to 15–20 kDa. Various minor proteins and protein fragments may be present in this region. Their biological role has not yet been fully studied. The ninth fraction is characterized by $R_f = 0.92-0.93$ and corresponds to α -lactalbumin [Vincenzetti et al., 2022]. The molecular weight of α -lactalbumin is 14.4 kDa; it is a regulatory subunit of the enzyme involved in lactose synthesis [Li et al., 2021]. Its content in Bactrian is 9.7 ± 0.2 %, in dromedary 10.1 ± 0.2 %, in cow 9.8 ± 0.1 %. The differences are not statistically significant ($p > 0.05$). This indicates that α -lactalbumin is an evolutionarily conserved protein, and its amount varies little depending on the species. α -Lactalbumin is present in the milk of all mammals, and its main function is to regulate lactose synthesis. Comparison of dromedary and Bactrian showed that dromedary has 8 fractions, Bactrian has 9 fractions [Hailu et al., 2020]. In the dromedary, the fraction that should be located between the seventh and eighth fractions is absent. In addition, the proportion of the fourth fraction in dromedary is significantly higher (12.2 % vs. 8.1 %). This may be related to genetic differences and ecological adaptations of the two species [Mbye et al., 2022].

Assessment of the representativeness of pooled milk is of great practical importance [Konuspayeva et al., 2023]. In the dairy industry, it is impossible to process milk from individual animals separately, so it is necessary to know the composition of pooled milk. Our data showed that pooled milk from 15 Bactrian camels corresponds statistically to individual samples in all parameters ($p > 0.05$) [Nagy et al., 2021]. The coefficient of variation for all fractions did not exceed 3.5%, which indicates high reproducibility. Therefore, pooled milk adequately characterizes the average protein composition of the population and can be used for scientific research and production purposes. The practical significance of the results obtained is manifested in several aspects. First, accurate data on the protein composition of camel milk provides a basis for its standardization and quality control [Mayer & Fiechter, 2022]. Second, the high content of immunoglobulins and lactoferrin allows the use of camel milk as a raw material for the production of functional food products and biologically active supplements [Swelum et al., 2021]. Third, data on the presence or structural features of β -lactoglobulin are important for assessing the allergenicity of camel milk [Caira et al., 2022].

Conclusion.

For the first time, a complete electrophoretic characterization of whey proteins from the milk of the Kazakhstani Bactrian population was obtained using SDS-PAGE. 9 major protein fractions were identified in Bactrian and cow milk, and 8 fractions in dromedary milk. The number of fractions is higher than indicated in previous studies, which is due to the high resolution of the 12 % polyacrylamide gel used. In all studied species, the first and second fractions dominate. Their total proportion is 38.8–39.8 % of the total whey protein. The first fraction corresponds to immunoglobulins, the second fraction corresponds to serum albumin. The high content of immunoglobulins determines the immunomodulatory and antimicrobial properties of camel

milk. The $R_f = 0.10 \pm 0.01$ for the first fraction in Bactrian, compared to $R_f = 0.01 \pm 0.00$ in cow, confirms the presence of unique heavy-chain antibodies in camel milk that lack light chains.

Statistically significant differences ($p < 0.05$) were found between Bactrian and cow milk in the content of the second, third, and sixth fractions, and in the R_f values of the first and sixth fractions. The content of the third fraction, i.e., lactoferrin, is significantly higher in Bactrian (9.2 % vs. 8.0 %), which enhances the antimicrobial properties of camel milk. The presence of a fraction in the β -lactoglobulin region ($R_f = 0.67 \pm 0.01$ in Bactrian, $R_f = 0.70 \pm 0.01$ in dromedary) was established in camel milk. The R_f value in Bactrian differs significantly from that in cow, which indicates structural features of camel β -lactoglobulin or the presence of another protein. This fact requires revision of the thesis about the complete absence of β -lactoglobulin in camel milk and necessitates additional immunological studies to assess the hypoallergenicity of camel milk.

In dromedary milk, compared to Bactrian, one fraction is missing, and the proportion of the fourth fraction is significantly higher (12.2 % vs. 8.1 %). This reflects genetic and ecological adaptation differences between the two species. Pooled milk from 15 Bactrian camels corresponds statistically to individual samples in all parameters ($p > 0.05$), with a coefficient of variation not exceeding 3.5 %. This proves that pooled milk adequately characterizes the average protein composition of the population and can be used for scientific research and production purposes. The data obtained provide a scientific basis for standardization of Kazakhstani camel milk, quality control, and development of technology for isolating biologically active proteins - immunoglobulins, lactoferrin, and lysozyme. Camel milk is a promising raw material for the production of functional food products and pharmaceutical preparations.

REFERENCES

- Arain, M.A., Khaskheli M., Malik A.H., Arain S., Soomro A.H., Arain H.H. (2022). Bioactive peptides derived from camel milk proteins: A review of their functional properties // *International Journal of Dairy Technology*. 2022. Vol. 75. No. 2. P. 285–301. DOI: 10.1111/1471-0307.12845.
- Alhaj, O.A., Taufik E., Handa Y. (2022). Camel milk: Antimicrobial agents, fermented products, and shelf life // *Foods*. 2022. Vol. 11. No. 15. P. 2157. DOI: 10.3390/foods11152157.
- Ayyash, M., Al-Dhaheri A.S., Al-Haj O.A. (2022). In vitro investigation of health-promoting benefits of fermented camel milk // *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105. No. 10. Pp. 7780–7795. DOI: 10.3168/jds.2022-21899.
- Ali, A.H., Selim K.A., Shahein M.R. (2022). Identification and characterization of the milk fat globule membrane proteins from camel milk // *Food Chemistry*. 2022. Vol. 380. 132185. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132185.
- Benmeziane-Derradji, F. (2021). Camel milk as a potential functional food: a synopsis of recent advances // *Food Reviews International*. 2021. Vol. 39. No. 8. Pp. 5496–5515. DOI: 10.1080/87559129.2021.2015770.
- El-Hatmi, H., Jrad Z., Salhi I., Aguiabi A., Nadri A., Khorchani T. (2021). Comparison of composition and whey protein fractions of human, camel, donkey, goat and cow milk // *Mljekarstvo*. 2021. Vol. 71. No. 3. Pp. 162–175. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2021.0302.
- Fguiri, I., Atigui M., Ziadi M., Arroum S., Khorchani T. (2021). Biochemical, microbiological, and proteomic characterization of Bactrian camel milk from Tunisia // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021. Vol. 102. 104008. DOI: 10.1016/j.jfca.2021.104008.
- Felfoul, I., Jardin J., Gaucheron F., Attia H., Ayadi M.A. (2021). Proteomic profiling of the acid whey fraction from dromedary milk // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 364. 130403. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130403.
- Hailu, Y., Hansen E.B., Seifu E., Eshetu M., Ipsen R., Lametsch R. (2021). Rheological and proteomic characterization of camel milk proteins and their changes during lactic acid fermentation // *Food Hydrocolloids*. 2021. Vol. 121. 107039. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.107039.
- Konuspayeva, G., Faye B., Loiseau G., Narmuratova M. (2021). Camel milk composition in Kazakhstan: seasonal and regional variations // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2021. Vol. 33. No. 7. Pp. 565–574. DOI: 10.9755/ejfa.2021.v33.i7.2731.
- Konuspayeva, G., Narmuratova Zh., Meldebekova A. (2022). Immunoglobulins in Bactrian camel milk: seasonal dynamics in South Kazakhstan / G. Konuspayeva, // *Veterinary World*. 2022. Vol. 15. No. 11. Pp. 2648–2654. DOI: 10.14202/vetworld.2022.2648-2654.
- Khan, M.Z., Xiao J., Ma Y., Ma J., Liu S., Khan A. (2022). Whey protein composition and bioactive properties of Bactrian camel milk from China and Kazakhstan // *Food Chemistry*. 2022. Vol. 393. 133403. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133403.
- Lajnaf, R., Trigui, Samet-Bali O., Attia H., Ayadi M.A. (2022). Comparative study on the functional properties of whey proteins from camel and bovine milk // *LWT - Food Science and Technology*. 2022. Vol. 154. 112666. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112666.
- Laemmli, U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 // *Nature*. 1970. Vol. 227. No. 5259. Pp. 680–685. DOI: 10.1038/227680a0.
- Mohamed, H., Johansson M., Lundh Å., Nagy P., Kamal-Eldin A. (2022). Short communication: Caseins and α -lactalbumin content of camel milk determined by capillary electrophoresis // *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105. No. 3. Pp. 1994–2000. DOI: 10.3168/jds.2021-20995.
- Meldebekova, A., Zhumagaliyeva G., Alamanova A. (2024). Method for electrophoretic separation of camel milk whey proteins in polyacrylamide gel with sodium dodecyl sulfate / A. Meldebekova, // *Eurasian Patent No. 045892*. — Astana, 2024.
- Mbye, M., Sobti B., Al-Nabulsi A., Ayyash M. (2021). Camel milk whey proteins: Potential applications in food and health // *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104. No. 10. Pp. 10438–10452. DOI: 10.3168/jds.2021-20420.
- Sinyavskiy, Y.A., Yakunin A.V., Konuspayeva G. (2021). Bioactive potential of camel milk lactoferrin: Kazakhstan studies // *International Journal of Dairy Technology*. 2021. Vol. 74. No. 4. Pp. 698–705. DOI: 10.1111/1471-0307.12806.
- Narmuratova, M., Konuspayeva G., Faye B. (2022). Technological properties of Bactrian camel milk whey proteins from Almaty region // *Journal of Camel Practice and Research*. 2022. Vol. 29. No. 2. Pp. 187–193.
- Narmuratova, M., Serikbayeva A., Faye B. (2023). α -Lactalbumin content in milk of Kazakh Bactrian camels // *Mljekarstvo*. 2023. Vol. 73. No. 2. Pp. 98–106. DOI: 10.15567/mljekarstvo.2023.0203.
- Vincenzetti, S., Vita A., Polidori L. (2022). Whey proteins from milk: structure, properties and applications // *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23. No. 3. P. 1812. DOI: 10.3390/ijms23031812.
- Zhumagaliyeva G.K., Alamanova A.A., Amirkhanov K.Zh. (2024). Comparative analysis of whey proteins of Bactrian and dromedary milk by

electrophoresis // Vestnik KazNU. Biological Series. 2024. No. 1(98). Pp. 112–119.

Zhumagaliyeva G., Konuspayeva G., Faye B., Meldebekova A. (2023). Whey protein profile of Bactrian camel milk from Kazakhstan: first report by SDS-PAGE // Journal of Camelid Science. 2023. Vol. 16. No. 1. Pp. 45–52.

Zhao D., Wang Z., Guo Y., Wang C., Jiang L., Zhang Y. (2022). Comparative proteomics analysis of Bactrian camel milk whey: New insights into species-specific proteins // Food Research International. 2022. Vol. 162. 112089. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112089.

Сыман Қуаныш Жеңісқызы – концептуализация, написание и редактирование текста.

Киргизбаева Арай Асканбаевна – курирование данных, проведение экспериментов, ресурсы. **Абдукадирова Жансая Абдимуратовна** – проведение экспериментов, сбор данных.

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

RESEARCH, RESULTS – ИЗДЕНИСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР – ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ
 ISSN 2304-3334 (print)

Vol. 28. Is. 3. Number 111 (2026). Pp. 62–70
 Journal homepage: <https://journal.kaznaru.edu.kz>
<https://doi.org/10.37884/3-2026/05>
 IRSTI / FTAXP / МРНТИ / 34.35.51



G.E. Asylbekova^{1*}, B.K. Zhumabekova¹, A.S. Akmullayeva², B.T. Raimbekova³, A. Gadimov⁴

¹Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan, Pavlodar, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

³Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan;

⁴Institute of Botany, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan.

E-mail: assylbekovag@mail.ru

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE BIOINDICATOR POTENTIAL OF THYME *THYMUS SERPYLLUM* L. IN VARIOUS NATURAL-ANTHROPOGENIC CONDITIONS

Asylbekova Gulmira Ermukhanovna, PhD, associate professor, Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan, Pavlodar, Kazakhstan

E-mail: assylbekovag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7299-4468>;

Zhumabekova Bibigul Kabylbekovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan, Pavlodar, Kazakhstan

E-mail: zhumabekovab@ppu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3078-3096>;

Akmullayeva Aizhan Seitkanovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: Akmullayeva.Aizhan@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-5687-0605>;

Raimbekova Baktigul Tasbolatovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kazakh National Women's Pedagogical University, Institute of Natural Sciences, Faculty of Biology, Almaty, Gogol str. 114, 050040, Kazakhstan

E-mail: nyrasil@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-6867-4018>;

Gadimov Aladdin, candidate of biological sciences, Associate Professor, Head of the Department of Experimental Botany, Institute of Botany, Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan <https://orcid.org/0009-0009-7653-1637>.

Abstract. This study aims to identify geochemical features of microelement accumulation in vegetation using creeping thyme (*Thymus serpyllum* L.) as an example and to assess its bioindicator potential in contrasting natural and anthropogenic environments. The main idea of the study is a comparative analysis of the microelement composition of plants growing in the urban area of Poznan (Poland) and in the predominantly natural ecosystem of Bayanaul National Nature Park (Kazakhstan) to determine the role of natural and anthropogenic factors in shaping the elemental profile of vegetation. The research methodology is based on X-ray fluorescence spectral analysis of thyme's aboveground parts, allowing for the determination of macro-, micro-, and trace element contents with high accuracy and reproducibility. Sampling was carried out during the active growing season, taking into account the homogeneity of the phytocenoses and the environmental conditions of the habitats. As a result, significant regional differences in the microelement composition of plants were identified. Samples from the Bayanaul National Nature Park showed elevated concentrations of most elements, due to the natural geochemical properties of the soils and landscapes. In the urban environment of Poznań, signs of anthropogenic impact were detected, manifested by changes in the elemental composition of plants. The obtained results confirm the high sensitivity of *Thymus serpyllum* L. to environmental condi-

tions and substantiate its potential use as an effective bioindicator. The study's value lies in the development of a reference background microelement profile for natural ecosystems and the expansion of the scientific foundations for biogeochemical monitoring and environmental assessment of territories.

Keywords: geochemical composition, ecology, biomonitoring, bioindicators, national nature park, biogeochemistry

For citation: Asylbekova G.E., Zhumabekova B.K., Akmullayeva A.S., Raimbekova B.T., Gadimov A. (2026). Agroecological assessment of the bioindicator potential of thyme *Thymus serpyllum* L. In various natural-anthropogenic conditions // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 62–70. <https://doi.org/10.37884/3-2026/05> [in Eng.].

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

Г.Е. Асылбекова^{1*}, Б.К. Жумабекова¹, А.С. Акмуллаева², Б.Т. Райымбекова³, А. Гадимов⁴

¹Әлкей Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар, Қазақстан;

²«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

³Қазақ ұлттық әйелдер педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;

⁴Әзірбайжан Республикасы Ғылым және білім министрлігінің Ботаника институты
E-mail: assylbekovag@mail.ru

БАЯНАУЫЛ ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІНІҢ АУМАҒЫНДАҒЫ ЖЕБІРШӨПТІҢ (THYMUS SERPYLLUM L.) ГЕОХИМИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Асылбекова Гүлмира Ермұханқызы, PhD докторы, доцент, Әлкей Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар, Қазақстан

E-mail: assylbekovag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7299-4468>;

Жұмабекова Бибігүл Қабылбекқызы, биология ғылымдарының докторы, профессор, Әлкей Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар, Қазақстан

E-mail: zhumabekovab@ppu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3078-3096>;

Акмуллаева Айжан Сейітканқызы, биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: Akmullayeva.Aizhan@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-5687-0605>;

Райымбекова Бактигуль Тасболатқызы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазақ ұлттық әйелдер педагогикалық университеті, Жаратылыстану ғылымдары институты, Биология факультеті, Алматы, Гоголь көшесі 114, 050040, Қазақстан.

E-mail: nyrasil@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6867-4018>;

Гадимов Аладдин, биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Әзірбайжан Республикасы Ғылым және білім министрлігінің Ботаника институтының эксперименттік ботаника кафедрасының меңгерушісі

<https://orcid.org/0009-0009-7653-1637>.

Аннотация. Өсімдіктер әлемі экожүйенің ең сезімтал құрамдас бөліктерінің бірі ретінде қоршаған ортаның жай-күйін бағалауда маңызды индикатор болып табылады. Бұл мақалада өсімдіктер экологиялық жағдайларды бағалау үшін қолданылатын екі өңір қарастырылады: Польшадағы Познань қаласы және Қазақстандағы Баянауыл ұлттық табиғи паркі. Зерттеу өсімдіктердің микроэлементтік құрамын талдауға негізделген, бұл табиғи және антропогендік факторлардың экожүйеге әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу объектісі ретінде әртүрлі климаттық және экологиялық жағдайларда өсетін, сыртқы әсерлерге төзімділігімен ерекшеленетін жебіршөп (*Thymus serpyllum* L.) таңдалды. Микроэлементтердің мөлшерін анықтау үшін жоғары дәлдікті қамтамасыз ететін және алынған мәліметтердің қайталанымдылығын қамтамасыз ететін рентген-спектральдық әдіс қолданылды. Нәтижелер өңірлер арасында микроэлемент концентрациясының елеулі айырмашылықтарын көрсетті. Баянауыл ұлттық табиғи паркінде көп элементтердің мөлшері жоғары болып, бұл топырақ геохимиясының ерекшеліктері мен табиғи ландшафттық жағдайларға байланысты. Ал урбанизацияланған Познань қаласында антропогендік ластанудың ізі байқалып, өсімдіктерде кремний мен скандий сияқты химиялық элементтердің жинақталуы тіркелді. Анықталған деректер өсімдіктердің химиялық құрамының қоршаған ортаның жай-күйін бағалауда сенімді индикатор бола алатынын растайды. Өсімдіктердің микроэлементтік құрамын зерттеу ластану көздерін анықтауға

ғана емес, сонымен қатар экожүйелерді қорғау стратегияларын әзірлеуге және антропогендік әсерлер мен климаттық факторларға байланысты өзгерістерді мониторингтеуге де ықпал етеді.

Түйін сөздер: геохимиялық құрам, экология, биомониторинг, биоиндикаторлар, ұлттық табиғи парк, биогеохимия

Дәйексөз үшін: Асылбекова Г.Е., Жумабекова Б.К., Акмуллаева А.С., Райымбекова Б.Т., Гадимов А. (2026). Баянауыл ұлттық табиғи паркінің аумағындағы жебіршөптің (*Thymus serpyllum* L.) Геохимиялық ерекшеліктері // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 62–70. <https://doi.org/10.37884/3-2026/05> [In Eng.]

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

Г.Е. Асылбекова¹*, Б.К. Жумабекова¹, А.С. Акмуллаева², Б.Т. Раймбекова³, А. Гадимов⁴

¹Педагогический университет им. Алкея Маргулан, Павлодар, Казахстан;

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

³Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан;

⁴Институт ботаники Министерства науки и образования Азербайджанской Республики.

E-mail: assylbekovag@mail.ru

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧАБРЕЦА (*THYMUS SERPYLLUM* L.) НА ТЕРРИТОРИИ БАЯНАУЛЬСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Асылбекова Гульмира Ермухановна, кандидат биологических наук, доцент Павлодарского педагогического университета имени Алкея Маргулана, Павлодар, Казахстан.

E-mail: assylbekovag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7299-4468>;

Жумабекова Бибигуль Кабыльбековна, доктор биологических наук, профессор Павлодарского педагогического университета имени Алкея Маргулана, Павлодар, Казахстан

E-mail: zhumabekovab@ppu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3078-3096>;

Акмуллаева Айжан Сейткановна, кандидат биологических наук, доцент, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: Akmullayeva.Aizhan@kaznu.kz, <https://orcid.org/0009-0006-5687-0605>;

Раймбекова Бактигуль Тасболатовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Казахский национальный женский педагогический университет, Институт естественных наук, Биологический факультет, Алматы, ул. Гоголя, 114, 050040, Казахстан

E-mail: nyrasil@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6867-4018>;

Гадимов Аладдин, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой экспериментальной ботаники Института ботаники Министерства науки и образования Азербайджанской Республики <https://orcid.org/0009-0009-7653-1637>.

Аннотация. Растительность как один из наиболее чувствительных компонентов экосистем является важным индикатором состояния окружающей среды. В данной статье рассматриваются два региона: город Познань (Польша) и Баянаульский национальный природный парк (Казахстан), где растительность используется для оценки экологических условий. Исследование основано на анализе микроэлементного состава растений, который позволяет оценивать влияние природных и антропогенных факторов на состояние экосистемы. В качестве объекта исследования выбран чабрец (*Thymus serpyllum* L.), произрастающий в различных климатических и экологических условиях и характеризующийся устойчивостью к внешним воздействиям. Для определения содержания микроэлементов применялся рентгеноспектральный метод, обеспечивающий высокую точность анализа и воспроизводимость полученных данных. Результаты показали значительные различия в концентрации микроэлементов между исследуемыми регионами. В Баянаульском национальном природном парке наблюдается более высокое содержание большинства элементов, что связано с особенностями геохимии почв и природными ландшафтными условиями данной территории. В то же время в урбанизированной среде Познани фиксируются следы антропогенного загрязнения, проявляющиеся в накоплении химических элементов в растениях, таких как кремний и скандий. Полученные данные подтверждают, что химический состав растительности может служить надежным индикатором состояния окружающей среды. Исследование микроэлементного состава растений не только помогает выявить источники

загрязнения, но и способствует разработке стратегий по охране экосистем и мониторингу изменений, связанных с антропогенным воздействием и климатическими факторами.

Ключевые слова: геохимический состав, экология, биомониторинг, биоиндикаторы, национальный природный парк, биогеохимия

Для цитирования: Асылбекова Г.Е., Жумабекова Б.К., Акмуллаева А.С., Райымбекова Б.Т., Гадимов А. (2026). Геохимические особенности чабреца (*Thymus serpyllum* L.) На территории бая-наульского национального парка павлодарской области // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 62–70. <https://doi.org/10.37884/3-2026/05> [In Eng.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

Flora is one of the most important and dynamic components of the biosphere, playing a key role in shaping the biogeochemical cycles of micronutrients. Micronutrients exert a significant influence on many molecular processes in plants, ensuring their viability and functional activity [Shahar et al., 2023; Zhumabekova et al., 2025].

The accumulation of trace elements by plants and animals from the environment is closely associated with their primary sources, namely soil, water, and the atmosphere [Satkanov et al., 2024; Shahar et al., 2023; Shaimardanova et al., 2010]. Therefore, the chemical composition of biota is widely used as an indicator of environmental conditions, reflecting both natural geochemical background and anthropogenic impacts [Ermokhin et al., 2004; Ermakov and Tyutikov, 2008; Assylbekova, 2013; Alekseenko and Alekseenko, 2014; Rikhvanov et al., 2015; Zhumabekova et al., 2025].

The microelement composition of vegetation allows not only the assessment of the current ecological state but also the detection of environmental changes under anthropogenic influence. Comprehensive analysis of plant chemical composition has become an essential tool in ecology, particularly for monitoring industrial pollution, as well as in geology for biogeochemical exploration of mineral resources [Assylbekova, 2013; Alekseenko and Alekseenko, 2014; Fan et al., 2023; Shi et al., 2023; Li et al., 2025].

Traditionally, studies have focused on a limited number of trace elements, such as Cr, Zn, Pb, Cu, Co, and Ni. However, modern high-sensitivity analytical methods allow the investigation of a much broader range of elements, significantly expanding the scope of ecological and geochemical research [Baranovskaia, 2003; Bezel et al., 2019; Bussurmanova, 2023; Fan et al., 2023; Shi et al., 2023; Li et al., 2025].

Materials and methods.

The study was conducted on creeping thyme (*Thymus serpyllum* L.), a widespread medicinal and wild plant species characterized by its ability to accumulate microelements and respond sensitively to changes in environmental chemical composition [Shahar et al., 2023; Ibraeva and Ozturk, 2024; Jovanović et al., 2021]. This species was selected due to its ecological plasticity, tolerance to diverse climatic conditions, and high suitability for biogeochemical and environmental assessments [World Plants, 2025; Tamert et al., 2017].

Plant material was collected from two ecologically contrasting regions with differing natural conditions and levels of anthropogenic impact: Poznań (Poland) and the Bayanaul National Nature Park (Kazakhstan). This approach enabled a comparative assessment of microelement composition in plants growing under urbanized and natural environmental conditions [Assylbekova et al., 2025; Zhumadina et al., 2023].

The city of Poznań, located in western Poland within the Greater Poland Voivodeship, is characterized by a temperate continental climate influenced by maritime air masses. The average annual air temperature ranges from +8 to +9 °C, with moderately warm summers and mild winters. Precipitation is relatively evenly distributed throughout the year. Poznań is a major industrial and transportation hub, resulting in significant anthropogenic pressure on the environment. The primary sources of pollution include vehicular emissions, industrial activities, dense urban infrastructure, and household emissions. Urban vegetation is predominantly represented by anthropogenically transformed phytocenoses, including parks, green spaces, lawns, and suburban forests, making it a suitable model for assessing environmental impacts on plant chemical composition [Assylbekova, 2013; Alekseenko and Alekseenko, 2014; Fan et al., 2023].

The Bayanaul National Nature Park (BNNP), located in the southeastern part of the Pavlodar region, Kazakhstan, is characterized by a sharply continental climate with pronounced annual and daily temperature fluctuations. Summers are hot and dry, winters are cold, and annual precipitation averages around 300 mm [Zhumadina et al., 2023; Assylbekova et al., 2025]. The territory features complex topography and diverse

landscapes, including granite mountains, lake basins, and steppe ecosystems. Vegetation consists of pine forests, meadow-steppe communities, and xerophytic shrubs. Anthropogenic impact is mainly associated with recreational activities, seasonal grazing, and localized environmental disturbances.

Thyme samples were collected during the active growing season, considering the homogeneity of phytocenoses and distance from potential pollution sources. Aboveground plant parts were sampled at multiple points within each site and combined into composite samples to ensure representativeness [Zhumbabekova et al., 2025]. The samples were dried at room temperature, ground, and prepared for further analysis.

Elemental composition of plant samples was determined using a BRA-18 “Burevestnik” X-ray fluorescence analyzer at the accredited testing laboratory of the Scientific Center for Biocenology and Environmental Research, Margulan University. The method is based on the detection of X-ray radiation emitted during the interaction of electrons with atoms of the analyzed material. Both qualitative and quantitative analyses were performed for elements ranging from sodium (Na) to uranium (U), with high sensitivity allowing detection of trace concentrations down to 0.01 % [Satkanov et al., 2024; Baranovskaia, 2003]. The analysis was non-destructive, enabling preservation of samples for further investigations.

Dry, homogenized powder samples were used for analysis, and data processing was carried out automatically using the instrument’s integrated software. Based on the obtained statistical data on elemental composition, a dendrogram was constructed using artificial intelligence methods [Fan et al., 2023; Shi et al., 2023; Li et al., 2025].

Results and discussion.

X-ray spectral analysis of thyme (*Thymus serpyllum* L.) samples collected in Poznan, Poland, and the Bayanaul National Nature Park, Kazakhstan, was used to determine the microelement composition of the plant material. A wide range of chemical elements, including macro-, micro-, and trace elements, were detected in the samples (Table 1).

Table 1 – Comparative content of chemical elements in thyme (*Thymus serpyllum* L.)

Element	Study areas		Element	Study areas	
	Poland	BPNP		Poland	BPNP
P	0.0012	0.2211	Co	0.0001	0.0004
K	0.0521	1,5078	Ni	0.0001	0.0006
Ca	0.0001	0.6731	Cu	0.0002	0.0004
Sc	0.0002	0.0034	Zn	0.0001	0.0028
Ti	0.0002	0.0022	Si	0.0104	0.5590
V	0.0001	0.0005	Hg	< d.l.	0.0002
Cr	0.0001	0.0006	CD	0.0001	0.0004
Mn	< d.l.	0.0006	Sb	< d.l.	0.0019
Fe	0.0012	0.0018	< d.l. - the element value is below the detection limits		

It was found that the concentrations of most elements in plants from the Bayanaul National Nature Park exceed those of samples collected in the urban environment of Poznan. The most pronounced differences were recorded for elements characteristic of natural geochemical anomalies and lithogenic background. This indicates a significant influence of soil geochemical characteristics and landscape conditions on the elemental composition of vegetation.

The analysis showed that the concentrations of phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), and silicon (Si) in the BNNP are significantly higher than in Poznań. The potassium content in the BNNP (1.5078) exceeds the Polish data (0.0521) by almost 29 times, and silicon (Si) by 54 times. This may be due to soil characteristics and geochemical conditions.

The concentrations of almost all the studied microelements (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, Cd, Sb) in the samples from the Bayanaul National Nature Park (BNNP) are higher than in the samples collected in Poznan. The most significant differences are observed for vanadium (V), chromium (Cr), manganese (Mn), iron (Fe), zinc (Zn), and antimony (Sb). Thus, the zinc content in thyme from BNNP (0.0028 mg/kg) is 28 times higher than the value for Poland (0.0001 mg/kg), and the iron concentration in the Kazakh samples (0.0018 mg/kg) is 50% higher than in the Polish ones (0.0012 mg/kg).

A similar trend is observed for heavy metals. For example, cadmium (Cd) levels in the Park (0.0004 mg/kg) were four times higher than in the urban environment of Poznań (0.0001 mg/kg).

A comparative analysis revealed that the microelement profile of thyme varied significantly between the studied regions, confirming the high sensitivity of this plant species to growing conditions. The obtained

data demonstrate regional specificities in element accumulation and reflect both natural and man-made environmental factors.

The following features of the micronutrient profile of thyme should be noted depending on the region: high concentrations of phosphorus, potassium, calcium, and silicon in samples from the Bayanaul National Nature Park indicate significant differences in soil and geological conditions. These significant increases indicate the region's soils are rich in minerals, which may impact plant properties and their potential phytochemical activity.

The increased levels of heavy metals, such as zinc, iron, and cadmium, in the BNPP samples may have two implications: first, it reflects the region's natural geochemical characteristics (e.g., soil mineralogy and topography), and second, they may be influenced by anthropogenic factors, such as coal mining in Ekibastuz, located 130 km from the BNPP.

The levels of chemical elements in thyme (*Thymus serpyllum* L.) within the Bayanaul National Park demonstrate high spatial variability in the microelement content of the vegetation within the park (Table 2). The greatest variability is observed for elements such as Sc, Mn, and Fe, which may be related to both the geochemical properties of the soils and anthropogenic impacts on the ecosystem.

High coefficients of variation (Cv), for example, for Sc (128%), Mn (108%), and Fe (73%), indicate heterogeneity in their distribution in plant samples. This may be due to differences in the geochemical composition of soils as well as the accumulation patterns of microelements in different plant species. Given such uneven distribution, it is more appropriate to use the mode rather than the mean.

The elements P and Ca are characterized by low values of the variation coefficient (equal to 1), which indicates the uniformity of their distribution and probable biological regulation of the content of these elements in plants.

The distribution of toxicants such as mercury and cadmium deserves special attention. Despite low concentrations, their presence in vegetation requires detailed study, as these elements can serve as indicators of anthropogenic pollution. For example, mercury (Hg) levels range up to 0.0003 mg/kg, reflecting the possible local influence of pollution sources.

Table 2 – Variational statistical indicators of the content of chemical elements in thyme (*Thymus serpyllum* L.) in the territory of the Bayanaul National Nature Park (n=25)

Elements, mg/kg	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	me	M_0	σ	lim	Cv, (%)
P	0.221104±0.000553	0.2204	0.2199	0.002765	0.2188 - 0.2319	1
K	1.507856±0.067995	1.5321	1.2221	0.339976	0.5621-2.1669	22
Ca	0.673124±0.001044	0.6715	0.671	0.00522	0.6707-0.6912	1
Sc	0.003424±0.000876	0.0022	0.0022	0.004382	0.0012-0.0185	128
Ti	0.002228±0.000241	0.0023	0.0027	0.001204	0-0.005	54
V	0.000504±0.000012	0.0005	0.0005	0.000061	0.0003-0.0006	12
Cr	0.000628±0.00002	0.0006	0.0006	0.000102	0.0004-0.001	16
Mn	0.001796±0.000387	0.0014	< d.l.	0.001935	0-0.0063	108
Fe	0.14016±0.02051	0.161	< d.l.	0.102548	0-0.2926	73
Co	0.000444±0.000064	0.0005	< d.l.	0.000322	0-0.001	72
Ni	0.000596±0.000039	0.0006	0.0005	0.000195	0.0003-0.0011	33
Cu	0.000436±0.000036	0.0004	0.0004	0.000182	0.0001-0.0011	42
Zn	0.00276±0.000195	0.0026	0.0026	0.000976	0.0023-0.0074	35
Si	0.558988±0.005821	0.5539	0.5572	0.029106	0.5242-0.6775	5
Hg	0.000228±0.000017	0.0002	0.0002	0.000084	0-0.0003	36
CD	0.0004±0	0.0004	0.0004	< d.l.	0.0004-0.0004	1
Sb	0.0019±0	0.0019	0.0019	< d.l.	0.0019-0.0019	22

Note: $\lim$ is the oscillation limit, $\bar{x} \pm S\bar{x}$ - arithmetic mean, and its error, σ is the standard deviation, C_v is the coefficient of variation,

< p.o. - the element value is below the detection limits

These tables contain statistical indicators showing information about biogeochemical processes in the park's ecosystem and the possible impact of anthropogenic factors.

Phosphorus and calcium contents have low coefficients of variation ($C_v = 1$), indicating a uniform distribution among plants. This may indicate biological regulation of their contents, suggesting stabilization of these element concentrations regardless of the soil geochemical composition.

High coefficients of variation (C_v), for example, for Sc (128%), Mn (108%), and Fe (73%), indicate heterogeneity in their distribution in plant samples. This may be due to differences in the geochemical composition of soils as well as the accumulation patterns of microelements in different plant species. Given such uneven distribution, it is more appropriate to use the mode rather than the mean.

The elements P and Ca are characterized by low values of the variation coefficient (equal to 1), which indicates the uniformity of their distribution and probable biological regulation of the content of these elements in plants.

The distribution of toxicants such as mercury and cadmium deserves special attention. Despite low concentrations, their presence in vegetation requires detailed study, as these elements can serve as indicators of anthropogenic pollution. For example, mercury (Hg) levels range up to 0.0003 mg/kg, reflecting the possible local influence of pollution sources.

A dendrogram constructed based on average values of the content of elements reflects the degree of similarity between elements according to their concentration (Figure 1).

The dendrogram is based on the average values of elemental elements, which determines the degree of similarity between elements based on their elemental composition. Elements located closer to each other have higher abundances, while groups that are more distant exhibit differences in concentration. This reveals the relationships between chemical elements and establishes an ecological link in environmental monitoring.

A dendrogram for cluster analysis of elemental composition allows one to divide sets of chemical elements into groups that combine elements with the highest similarity measures (pairwise Pearson correlation coefficients - r). Elements located closer to each other on the graph have more similar abundances, while more distant groups of elements differ in concentrations. This method allows one to visualize the clustering of chemical elements in the studied samples.

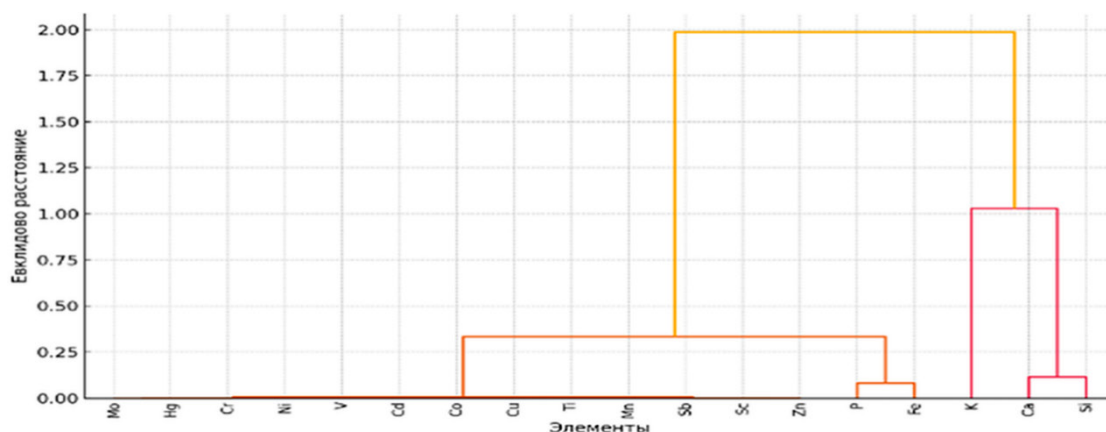


Fig1. Dendrogram of elements by average content

A comparative analysis of the microelement composition of *Thymus serpyllum* L. in areas with contrasting conditions – the Bayanaul National Nature Park (BNNP, Kazakhstan) and the urbanized environment of Poznan (Poland) – revealed reliable and statistically significant differences, confirming the high sensitivity of this bioindicator species to the geochemical characteristics of the habitat.

Microelement profile as a reflection of the natural geochemical background of the BNNP. The study results demonstrate that the concentrations of the vast majority of the studied microelements (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, Cd, Sb), as well as macroelements (P, K, Ca, Si) in the samples from the BNNP, significantly exceed those for the city of Poznań. Particularly pronounced differences, reaching tens of times, were recorded for elements closely related to the lithogenic base and natural geochemical anomalies. For example, the zinc (Zn) content in thyme from the park was 28 times higher, and silicon (Si) was 54 times higher

compared to the urban samples. A significant (50%) excess was also noted for iron (Fe). This pattern clearly indicates the predominant influence of natural soil and geochemical factors on the formation of the elemental composition of vegetation within the protected area. The high spatial variability of the content of many elements (especially Sc, Mn, Fe), reflected in the large values of the variation coefficients, is probably due to the natural heterogeneity of the soil cover, parent rocks, and microrelief of the Bayanaul Park, which is typical for natural, weakly transformed ecosystems.

Features of elemental composition in the urban environment (Poznan). In contrast, the microelement profile of thyme in Poznań is characterized by generally lower and, importantly, less variable accumulation levels of most of the elements studied. The relative increase in the content of certain heavy metals, such as cadmium (Cd), whose concentration in the park is still four times higher, may be a marker of diffuse anthropogenic impacts associated with motor vehicles, industrial emissions, or household waste in urban conditions. The narrower range of variation in elemental composition in urban samples can be explained by the leveling influence of the anthropogenic environment and the homogeneity of substrates (e.g., lawn or park soils), which less readily reflect natural geochemical variability.

Conclusion.

The results of this study revealed significant spatial variability in the microelement composition of vegetation within the Bayanaul National Nature Park, particularly for elements such as Sc, Mn, and Fe, while P and Ca showed relatively stable distributions, indicating biological regulation of their uptake. The detected presence of toxic elements, including Hg and Cd, suggests localized anthropogenic influence even within predominantly natural ecosystems. The elevated concentrations of trace elements observed in the study area reflect the combined effects of geological back-ground, landscape heterogeneity, and environmental conditions. The mountainous terrain and specific geochemical characteristics of the region likely play a key role in shaping the elemental composition of vegetation. The findings confirm that *Thymus serpyllum* L. is a highly informative bioindicator species capable of accumulating a wide range of elements and responding sensitively to environmental changes. This property makes it suitable for use in environmental monitoring and assessment of ecosystem health. The establishment of a reference microelement profile for a relatively undisturbed natural territory provides a reliable baseline for comparative analysis and for evaluating anthropogenic impacts in more disturbed environments. The comparative approach applied in this study demonstrated high effectiveness in distinguishing between natural geochemical variability and anthropogenic influences. Overall, the results emphasize the importance of comprehensive assessment of plant elemental composition for understanding ecosystem functioning, detecting environmental stress, and supporting the development of scientifically grounded strategies for environmental protection and sustainable management of natural areas.

The research highlights the need to develop effective monitoring programs to assess the state of the Bayanaul National Park ecosystem. Given the significant spatial variability of trace element composition, particularly Sc, Mn, and Fe, regular vegetation analysis is recommended to track changes in elemental composition. This will allow for the timely identification of potential threats to the ecosystem.

An important area is the use of data on the elemental composition of thyme (*Thymus serpyllum* L.) as bioindicators for assessing environmental quality. Given the ability of this species to accumulate a wide range of trace elements and respond to changes, the possibility of establishing observation networks based on the distribution and health of this plant should be considered. This could form the basis for long-term research aimed at monitoring anthropogenic and natural factors affecting the ecosystem.

The results of the study highlight the importance of developing and implementing reference trace element profiles for comparative analysis, assessing anthropogenic impacts, and promoting sustainable ecosystem development.

REFERENCES

- Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. 2014. Chemical elements in urban soils. — Moscow: Logos. — 372 p. [in Russ.]
 Assylbekova G. 2013. Estimation of chemical composition of the ashes from black poplar (*Populus nigra* L.) leaves in the urban ecosystem of Pavlodar // World Applied Sciences Journal. — 21(9). — Pp. 1309–1315. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.21.9.2925> [in Eng.]
 Assylbekova G., Zhumabekova B., Klimenko M., Khan S.M., Aubakirova K. (2025). Technogenic effects on Scots pine generative organs // A cross-country study. Acta Biologica Sibirica. — 11. — Pp. 1–12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14637256> [in Eng.]

- Baranovskaia N.V. (2003). Elemental composition of biological materials and its use for identifying anthropogenically transformed territories. — Tomsk: TPU. — 172 p. [in Russ.]
- Bezel V.S., Zhuikova T.V., Dulia O.V., Balyberdina N.S. (2019). Intraspecific variability of metal tolerance in *Taraxacum officinale* // Russian Journal of Ecology. — 50. — Pp. 331–336. [in Russ.]
- Bussurmanova A. (2023). The influence of pH of the environment on soil stability // Yessenov Science Journal. — 45(2). — Pp. 209–217. <https://doi.org/10.56525/ISDW8081> [in Eng.]
- Ermakov V.V., Tyutikov S.F. (2008). Geochemical ecology of animals. — Moscow: Nauka. — 315 p. [in Russ.]
- Ermokhin Yu.I., Sindireva A.V., Trubina N.K., Servulia V.A. (2004). Comprehensive assessment of heavy metal transfer and impact in the “soil–plant–animal” system. Proceedings of the III International Scientific Conference. — Semipalatinsk. — Pp. 44–49. [in Russ.]
- Fan K.K., Chu H., Eldridge D.J., Gaitan J.J., Liu Y.R., Sokoya B., Sun W. (2023). Soil biodiversity supports the delivery of multiple ecosystem functions in urban greenspaces // Nature Ecology & Evolution. — 7(1). — Pp. 113. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01935-4> [in Eng.]
- Li J., Abliz A., Nueraihemaiti B., Guo D., Liu X. (2025). Evaluation and source analysis of plant heavy metal pollution in Kalamaili Mountain Nature Reserve. Plants. — 14(10). — 1521. <https://doi.org/10.3390/plants14101521> [in Eng.]
- Rikhvanov L.P., Arkhangelskaya T.A., Zamyatina Yu.L. (2015). Dendroradiography as a method for retrospective assessment of radioecological conditions. — Tomsk: TPU. — 148 p. [in Russ.]
- Satkanov M., Tazhibay D., Zhumabekova B., Assylbekova G., Abdugarimov N., Nurbekova Zh., Kulatayeva M., Aubakirova K., Alikulov Z. (2024). Method for assessing the content of molybdenum enzymes in the internal organs of fish. MethodsX. — 11. — Article 102576. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102576> [in Eng.]
- Shaimardanova B.Kh., Assylbekova G.E., Baranovskaia N.V. (2010). Bioindication of urban ecosystems based on chemical element content in *Populus nigra* L. leaves // Vestnik TSU. Biology. — 338. — Pp. 212–216. [in Russ.]
- Shahar B., Indira A., Santosh O., Dolma N., Chongtham N. (2023). Nutritional composition and antioxidant activity of *Thymus serpyllum* L. Measurement: Food. — 10. — Article 100092. <https://doi.org/10.1016/j.meaf.2023.100092> [in Eng.]
- Shi J., Zhao D., Ren F., Huang L. (2023). Spatiotemporal variation of soil heavy metals in China: pollution status and risk assessment. Science of the Total Environment. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161768> [in Eng.]
- World Plants (2025). Synonymous checklist and distribution of the world flora. Available at: <https://www.worldplants.de> (accessed 2025). [in Eng.]
- Zhumabekova B., Tarasovskaya N., Klimenko M., Shakenova D., Assylbekova G. (2025). Flora checklist in the Bayanaul State National Nature Park, Kazakhstan. Plants. — 14(7). — 1119. <https://doi.org/10.3390/plants14071119> [in Eng.]
- Zhumadina Sh., Abilova S., Bulekbayeva L., Tarasovskaya N., Zhumadilov B. (2023). Anthropogenic impact on forest ecosystems: Bayanaul National Park case study // Polish Journal of Environmental Studies. — 32(4). — Pp. 3937–3945. <https://doi.org/10.15244/pjoes/162053> [in Eng.]

Assylbekova Gulmira Ermukhanovna — Conceptualization, Formal analysis, Writing – original draft, Writing review and editing. **Zhumabekova Bibigul Kabylbekovna** — Data curation, Investigation, Resources. **Akmullayeva Aizhan Seitkanovna** — Investigation, Data curation, Visualization. **Raimbekova Baktigul Tasbolatovna** — Investigation, Data curation, Visualization. **Gadimov Aladdin** — Methodology, Supervision, Formal analysis.



A. Doszhanova¹, Zh. Ospanbayev^{1,2}, A. Sembayeva^{1,2*}, Sh. Abdukhaimova¹

¹Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: sembaeva.a84@mail.ru

STUDY OF SUGAR BEET SOWING METHODS UNDER SUBSURFACE DRIP IRRIGATION

Doszhanova A., candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, 050010, Kazakhstan

E-mail: ainurdoszhanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9157-1022>;

Ospanbayev Zh., doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Almaty region, 040909, Kazakhstan

E-mail: zhumagali@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6570-8339>;

Sembayeva A., PhD, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Almaty region, 040909, Kazakhstan

E-mail: sembaeva.a84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5808-0080>;

Abdukhaimova Sh., doctoral student, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, 050010, Kazakhstan

E-mail: shyrynkul.abdukhaimov@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3085-8700>.

Abstract. The article presents the results of studies on the formation of sugar beet yield under subsurface drip irrigation in the conditions of light chestnut soils of the foothill irrigated zone of southeastern Kazakhstan. The conducted studies established that sugar beet yield directly depended on the sowing method, as well as the width and depth of drip tape placement. According to the research results, the highest yield indicators were obtained under the five-row sowing method (20×5×50 cm), and wide-row sowing with 45 cm row spacing when the drip tape was placed at a depth of 30–40 cm and the distance between tapes was maintained at 100 cm. Under these conditions, root yield reached 200 c/ha and higher. The use of a 100 cm drip tape placement width ensured high yields across all sowing methods. Increasing the placement width to 150 cm resulted in a significant decrease in yield. Particularly low yield indicators were observed under the 60 cm wide-row sowing method. In addition, under optimal drip tape placement parameters and sowing methods, a significant reduction in weed infestation of crops was observed. It was proven that, in order to increase sugar beet yield under subsurface drip irrigation conditions, it is effective to place the drip tape at a width of 100 cm and a depth of 20–30 cm, as well as to apply five-row sowing or wide-row sowing with 45 cm row spacing.

Keywords: sugar beet, sowing methods, subsurface drip irrigation, weed infestation, yield

For citation: Doszhanova A., Ospanbayev Zh., Sembayeva A., Abdukhaimova Sh. (2026). Study of sugar beet sowing methods under subsurface drip irrigation // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 71–83. <https://doi.org/10.37884/3-2026/06> [In Eng.].

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

Acknowledgment / Funding. The authors express their sincere gratitude to all specialists and staff members who participated in conducting the field experiments and processing the research results. The study was conducted within the framework of the project «Development and implementation of innovative technology of sugar beet cultivation based on subsurface drip irrigation», project registration number AP23488264.

*А. Досжанова¹, Ж. Оспанбаев^{1,2}, А. Сембаева^{*1,2}, Ш. Абдухаимова¹*

¹Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті КЕАҚ, Алматы, Қазақстан;

²Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми зерттеу институты ЖШС, Алмалыбақ, Қазақстан.

E-mail: sembaeva.a84@mail.ru

ЖЕРАСТЫ ТАМШЫЛАТЫП СУАРУ ЖАҒДАЙЫНДА ҚАНТ ҚЫЗЫЛШАСЫНЫҢ СЕБУ ТӘСІЛДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Досжанова А., ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, 050010, Қазақстан

E-mail: ainurdoszhanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9157-1022>;

Оспанбаев Ж., ауылшаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Алмалыбақ, 040909, Қазақстан

E-mail: zhumagali@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6570-8339>;

Сембаева А., PhD докторы, Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Алмалыбақ, 040909, Қазақстан

E-mail: sembaeva.a84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5808-0080>;

Абдухаимова Ш., Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университетінің Агробиология факультетінің докторанты, Алматы, 050010, Қазақстан

E-mail: shyrynkul.abdukhaimov@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3085-8700>.

Аннотация. Мақалада Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы тау бөктерінің суармалы аймағындағы ашық қоңыр топырақ жағдайында жер асты тамшылатып суару кезінде қант қызылшасының өнімінің қалыптасуын зерттеу нәтижелері келтірілген. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде қант қызылшасының өнімділігі себу тәсіліне, тамшылату лентасын көму ені мен тереңдігіне тікелей тәуелді екені анықталды. Өртүрлі себу тәсілдері мен тамшылату лентасын көму тереңдігінің өсімдіктердің биомассасының жиналуына, өсімдік жиілігінің қалыптасуына және өнімділігіне тікелей әсер ететіндігі зерттелді. Зерттеу нәтижелері бойынша ең жоғары өнімділік көрсеткіштері тамшылату лентасын 30–40 см тереңдікке көму және ленталар арасындағы арақашықтықты 100 см сақтау жағдайында бес қатарлы себу тәсілінде (20×5×50 см) және кеңқатарлы 45 см себу нұсқасында байқалды. Бұл жағдайда тамыржемістердің өнімділігі 200 ц/га және одан жоғары деңгейге жетті. Тамшылату лентасын көму енін 100 см деңгейінде қолдану барлық себу тәсілдерінде жоғары өнім қалыптастыруға мүмкіндік берді. Ал көму енін 150 см-ге дейін ұлғайту өнімділіктің айтарлықтай төмендеуіне әкелді. Өсіресе кеңқатарлы 60 см себу нұсқасында өнім мөлшері ең төмен деңгейде болды. Сонымен қатар, тамшылату лентасын көму параметрлері мен себу тәсілдерінің оңтайлы нұсқаларында егістіктің арамшөптермен ластануының айтарлықтай төмендегені байқалды. Алынған нәтижелер жер асты тамшылатып суару жағдайында қант қызылшасының өнімділігін арттыруда агротехникалық шаралардың маңыздылығын көрсетеді. Жер асты тамшылатып суару жағдайында қант қызылшасын өсіруде өнімділікті арттыру үшін тамшылату лентасын 100 см енді және 20–30 см тереңдікте орналастыру, сондай-ақ бес қатарлы немесе кеңқатарлы 45 см себу тәсілдерін қолдану тиімді екені дәлелденді.

Түйін сөздер: қант қызылшасы, себу тәсілдері, жер асты тамшылатып суару, арамшөптермен ластану, өнімділік

Дәйексөз үшін: Досжанова А., Оспанбаев Ж., Сембаева А., Абдухаимова Ш. (2026). Жерасты тамшылатып суару жағдайында қант қызылшасының себу тәсілдерін зерттеу // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 71–83. <https://doi.org/10.37884/3-2026/06> [In Eng.].

Мүдделер қақтығысы: авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс / Қаржыландыру. Авторлар далалық тәжірибелерді жүргізуге және зерттеу нәтижелерін оңдеуге қатысқан барлық мамандар мен қызметкерлерге шынайы алғысын білдіреді. Зерттеу жұмысы «Жер асты тамшылатып суару негізінде қант қызылшасын өсірудің инновациялық технологиясын әзірлеу және енгізу» жобасы аясында орындалды, жобаның тіркеу нөмірі AP23488264.

*А. Досжанова¹, Ж. Оспанбаев^{1,2}, А. Сембаева^{*1,2}, Ш. Абдухаимова¹*

¹Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан;
Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, Алмалыбак, Казахстан.

E-mail: sembaeva.a84@mail.ru

ИЗУЧЕНИЯ СПОСОБОВ ПОСЕВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ ПОДПОЧВЕННОМ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

Досжанова А., кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, 050010, Казахстан

E-mail: ainurdoszhanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9157-1022>;

Оспанбаев Ж., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, Алмалыбак, 040909, Казахстан

E-mail: zhumagali@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6570-8339>;

Сембаева А., PhD доктор, Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, Алмалыбак, 040909, Казахстан

E-mail: sembaeva.a84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5808-0080>;

Абдухаимова Ш., докторант факультета агробиологии Казахского национального аграрного исследовательского университета, Алматы, 050010, Казахстан

E-mail: shyrynkul.abdukhaimov@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3085-8700>.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований формирования урожая сахарной свеклы при подпочвенном капельном орошении в условиях светло-каштановых почв предгорной орошаемой зоны юго-востока Казахстана. В результате проведенных исследований установлено, что урожайность сахарной свеклы напрямую зависела от способа посева, ширины и глубины заделки капельной ленты. Изучено влияние различных способов посева и глубины заделки капельной ленты на накопление биомассы растений, формирование густоты стояния и урожайность культуры. По результатам исследований наиболее высокие показатели урожайности были получены при пятистрочном способе посева (20×5×50 см) и ширококормном посеве с междурядьем 45 см при заделке капельной ленты на глубину 30–40 см и расстоянии между лентами 100 см. В этих условиях урожайность корнеплодов достигала 200 ц/га и более. Применение ширины заделки капельной ленты 100 см обеспечивало формирование высокой урожайности при всех способах посева. Увеличение ширины заделки до 150 см приводило к значительному снижению урожайности. Особенно низкие показатели урожая отмечены при ширококормном посеве 60 см. Кроме того, при оптимальных параметрах заделки капельной ленты и способах посева наблюдалось существенное снижение засоренности посевов сорными растениями. Полученные результаты свидетельствуют о важности агротехнических мероприятий для повышения урожайности сахарной свеклы в условиях подпочвенного капельного орошения. Доказано, что для повышения урожайности сахарной свеклы в условиях подпочвенного капельного орошения эффективным является размещение капельной ленты на ширине 100 см и глубине 20–30 см, а также применение пятистрочного или ширококормного способа посева с междурядьем 45 см.

Ключевые слова: сахарная свекла, способы посева, подпочвенное капельное орошение, засоренность посевов, урожайность

Для цитирования: А. Досжанова, Ж. Оспанбаев, А. Сембаева, Ш. Абдухаимова (2026). Изучения способов посева сахарной свеклы при подпочвенном капельном орошении // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 71–83. <https://doi.org/10.37884/3-2026/06> [In Eng.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность / финансирование. Авторы выражают искреннюю благодарность всем специалистам и сотрудникам, принимавшим участие в проведении полевых опытов и обработке результатов исследований. Исследование выполнено в рамках проекта «Разработка и внедрение инновационной технологии возделывания сахарной свеклы на основе подпочвенного капельного орошения», регистрационный номер проекта AP23488264.

Introduction.

Market transformations in the agricultural sector of the economy were accompanied by negative processes for the development of sugar beet production: a significant reduction in acreage, a decrease in yield and gross harvest of sugar beet, a deterioration in the financial condition of industry enterprises, it also caused stagnation processes in the main links of sugar beet production: a drop in the production of sugar beet seeds, underutilization / complete shutdown of sugar factories. The average annual volume of refined sugar production in Kazakhstan over the past 5 years is about 300 thousand tons. At the same time, the share of domestic raw materials in the production of white sugar is 4 %, the remaining 96 % is imported raw sugar, mainly cane [KazAgro, 2014: 20].

Kazakhstan's high import dependence on sugar significantly reduces its economic and food security, as the volume of annual sugar purchases further increases the pressure on the accumulation of foreign exchange resources and stimulates not domestic, but foreign producers. The volume of imports of basic food products in recent years amounted to about one billion US dollars. The main share of imports (about 30 %) was occupied by sugar, including raw [Turebayeva et al., 2021: 747–758]. Therefore, providing the country's population with sugar mainly from domestic raw materials is a state task that allows solving the problem of food security and providing food industry enterprises with the necessary components.

Sugar beet is also of great agrotechnical importance, increasing the productivity of crop rotation in general and being a valuable precursor for many crops. Depending on the type of soil, the sugar content of beets can range from 15.5 to 20.5 %. Kazakhstan has potential opportunities for the revival of beet farming: favorable natural and climatic conditions, beet-friendly lands, and water sources.

Sugar beet is a plant with increased water requirements due to the long growing season and high yield potential. The full use of its yield potential, as well as the applied agrotechnical treatments, including nitrogen fertilizers, depends on many factors, including the genetic diversity of hybrids [Kenenbayev et al., 2022: 149–155; Beisenbayeva et al. 2021: 526–535] and the adaptive abilities of varieties to individual habitat [Studnicki, 2019: 514–521], but to the greatest extent it depends on the type or location of the soil and, above all, from the availability of water during the period of increased plant demand [Rehman, 2024: 1298–1307; Prasher, 2023: 1164477; Żarski, 2020: 166–0172]. The availability of water for plants depends on the amount of precipitation and its distribution during the growing season, and in case of lack of precipitation, if possible, depends on irrigation. Some studies of irrigation methods have shown [Borówczak et al., 2002: 204–213; Rzekanowski, 2005: 287–300] that sugar beet reacts to sprinkling by increasing the yield of root crops, but by reducing the sugar content.

Numerous studies, mainly conducted abroad, show that the most effective way of rational use of irrigation water is drip irrigation of crops. Drip irrigation is a method of irrigation in which water is supplied evenly to the roots of the plant in small portions throughout the growing season, and irrigation moisture only reaches the plants, and is not consumed on row spacing. Due to this, the drip irrigation system is more efficient than other irrigation methods [Kiyamaz, 2015: 225–234; Raina, 1998: 562–567; Cassel Sharmasarkar, 2001: 241–251]. The effectiveness of the use of mulching films during drip irrigation in the preservation of moisture and weed control has been proven [Seyfi, 2007; 15–20; Ospanbaev, 2024: 113–128].

In recent years, we have conducted research on the effectiveness of drip irrigation of field crops on irrigated lands in the south and south-east of Kazakhstan, including rice, sugar beet, corn, and soybeans. The research results have shown high efficiency of drip irrigation in the cultivation of the most water-intensive field crops, such as rice and sugar beet [Ospanbaev, 2017: 1581–1603; Abdukadirova, 2016: 751–759; Kenenbayev, 2016: 917–924]. However, surface drip irrigation does not find proper application by farmers of Kazakhstan, the main reason for which is the significant costs of annual laying and collection of drip tape, great difficulties for the timely implementation of agrotechnical measures.

Subsurface drip irrigation additionally leads to an accurate use of resources by supplying water directly to the active root zone of plants compared to surface drip irrigation [Ayars, 1999: 1–27; Ydyrys, 2020]. Unlike surface drip irrigation, the subsurface drip irrigation system has a longer service life, leading to less weed contamination of crops, and facilitates soil preparation and other tillage operations.

Since the subsurface drip irrigation system is buried in the soil, there is a significant decrease in the germination and growth of weeds, especially in the aisles. The options for obtaining two harvests per year in some areas are guaranteed compared to surface drip irrigation, since there is no need to remove the drip lines during harvesting and reinstall them before sowing. Agricultural operations and management are facilitated

because drip irrigation water is buried, and damage caused by agricultural equipment and field work is minimized. In addition, there should never be vehicle traffic above the drip tubes/tapes.

Materials and methods.

The study was conducted in the foothill irrigated zone of Southern Kazakhstan in the fields of «Zhylybulak-Merke» LLP, located in the Merken district of Zhambyl region, which belongs to a very arid foothill agro-climatic zone. The sum of the effective temperatures reaches 3400–3800 °C, and the annual precipitation ranges from 300 to 450 mm. Warm-season precipitation slightly exceeds that of the cold season, with approximately 40 % of the annual precipitation occurring in spring. Nevertheless, arid conditions prevail during most of the warm season. The area experiences 120–140 days annually with relative humidity below 30 %, including approximately 90–95 days characterized by dry winds of varying intensity. However, dry weather prevails throughout most of the warm season. The region experiences 120–140 days per year with relative humidity below 30%, including approximately 90–95 days characterized by dry winds of varying intensity. The frost-free period lasts, on average, 145–160 days. A stable snow cover usually forms during the first half of December and persists for 60–90 days. Thaw periods occur frequently, accounting for 54–57 days per year. In terms of agricultural specialization, this zone is well suited for the cultivation of agricultural crops under irrigated conditions. This region is characterized by light chestnut soils. Understanding the specific characteristics of the soil, such as texture, structure, water retention capacity, and nutrient content, is crucial for interpreting the results of the study. The type of soil affects the penetration and distribution of moisture, the availability of nutrients, and root development - all these are important factors in the cultivation of sugar beet. The climatic conditions of the Southeastern foothill region of Kazakhstan, including temperature, precipitation patterns, and total evaporation, also play an important role in determining crop water requirements and overall productivity. During the study, a field experiment was conducted to evaluate the effect of various methods of sowing and sealing with drip tape on sugar beet yields. A factorial experimental plan was used to evaluate the interaction between these two main factors. This design makes it possible to simultaneously investigate the individual and combined effects of the seeding and drip tape sealing method on measured parameters such as biomass accumulation, plant density, weed infestation, and sugar beet yield. The experimental plots were arranged in such a way as to ensure uniformity of soil conditions and minimize side effects. Randomization and repetition were used to reduce bias and increase the statistical reliability of the results.

Sowing methods. Four distinct sugar beet sowing methods were included in the experiment:

- Wide-row seeding at 60 cm: This method involves planting sugar beet seeds in single rows spaced 60 cm apart. This spacing is considered a conventional approach in some sugar beet cultivation systems.
- Wide-row seeding at 45 cm: Similar to the previous method, seeds are planted in single rows, but with a reduced spacing of 45 cm between rows. These narrower spacing aims to potentially increase plant density and optimize land use efficiency.
- Two-line seeding 20 × 50 cm: In this configuration, seeds are sown in pairs of rows, with a 20 cm spacing within each pair, and a 50 cm spacing between the pairs. This arrangement might influence light interception and resource competition among plants.
- Five-line seeding 20 × 5 × 50 cm: This method involves planting seeds in groups of five rows, with a close spacing of 20 × 5 x 50 within the group, and a wider spacing between the groups. This higher-density planting strategy could maximize yield potential under optimal conditions.

Each sowing method represents a different spatial arrangement of sugar beet plants, which can influence factors such as light interception, competition for water and nutrients, and airflow within the canopy.

Drip tape sealing methods. The experiment included variations in both the width and depth of drip tape sealing to examine their effects on water distribution and availability.

- Width of the drip tape seal: Three different widths were used: 100 cm, 125 cm, and 150 cm. The width of the seal refers to the lateral spread of the area wetted by the drip tape, influencing the overall soil volume that receives irrigation.
- Depth of sealing of the drip tape: The drip tape was installed at three different depths: 20 cm, 30 cm, and 40 cm. The depth of placement affects the vertical distribution of water in the soil profile, which can impact root development, water uptake, and evaporation losses.

The combination of different sealing widths and depths allowed for a comprehensive assessment of how drip irrigation configuration interacts with sowing methods to optimize water use efficiency and crop production.

Weed control methods. To evaluate weed management strategies within the different sowing and irrigation systems, the following weed control methods were implemented:

- Mechanical weeding: This method involved the physical removal of weeds using manual or mechanical tools. Specifically, mechanical weeding was performed in the phase of 2-3 pairs of leaves and before closing the leaves in the aisles to minimize weed competition early in the crop's development.

- Chemical weeding: This approach utilized herbicides to control weed growth. Dual-Gold herbicide was applied to the soil at a rate of 1.5 L ha⁻¹ before sowing sugar beet to prevent the emergence of weeds. Subsequently, Fusilade Forte herbicide was sprayed at a rate of 1.0 L ha⁻¹ as weeds appeared to target emerged weeds.

- Combined mechanical and chemical weeding: This integrated strategy incorporated both mechanical and chemical methods. Dual-Gold herbicide was applied to the soil before sowing, followed by mechanical weeding before the sugar beet plants closed the aisles.

The comparison of these weed control methods aimed to determine the most effective and sustainable approach for managing weeds in sugar beet production under subsurface drip irrigation.

Data collection and analysis. The study involved systematic data collection throughout the sugar beet growing season to assess the effects of the experimental treatments.

Biomass accumulation of sugar beet plants: Biomass accumulation was measured periodically (10.06, 10.07, 10.08, 10.09, 10.10) throughout the growing season. Plants were sampled from each plot, and the raw mass of both the entire plant and the roots was recorded in grams per 10 plants.

Density of sugar beet plants: Plant density was determined by counting the number of established sugar beet plants per unit area. These counts were taken to assess the impact of sowing method and drip tape sealing on plant establishment and survival.

Contamination of sugar beet crops: Weed contamination was evaluated by quantifying the number or biomass of weeds present in each plot. Measurements were taken at the beginning and end of the growing season to assess the effectiveness of weed control methods and the influence of the experimental treatments on weed growth.

Sugar beet yield: At harvest, sugar beet yield was measured as the amount of sugar beet produced per hectare (kg ha⁻¹ or tons ha⁻¹). Yield is the primary economic output and a key indicator of the success of the different treatments.

The collected data were subjected to appropriate statistical analyses to determine the significance of the effects of sowing method and drip tape sealing on the measured variables. Analysis of variance (ANOVA) was used to assess the main effects and interactions of the experimental factors. Where significant differences were found, post-hoc tests, such as Tukey's HSD test, were employed to compare means. The paper mentions "HCP, c ha⁻¹" in Table 4, which is the Least Significant Difference (LSD). This statistic was used to compare the yields. Statistical software was used for the analysis.

Results and discussion.

This paper investigates the impact of subsurface drip irrigation on sugar beet cultivation in the foothill irrigated zone of Southeastern Kazakhstan. The authors highlight the importance of sugar beet for both economic and agricultural reasons, and the necessity of efficient irrigation methods in the region. They compare different sowing methods and drip tape placement depths, analysing the effects on biomass accumulation, plant density, weed contamination, and ultimately, sugar beet yield. The study emphasizes the potential of subsurface drip irrigation to optimize water use, reduce weed growth, and improve overall sugar beet production. Biomass accumulation is a fundamental indicator of plant growth and development, reflecting the plant's ability to capture and utilize resources like sunlight, water, and nutrients to produce biological material. Table 1 presents a detailed view of how sugar beet plant biomass accumulates over the growing season, under the influence of different sowing methods. These findings provide valuable insights into how different sowing methods affect the overall growth dynamics of sugar beet. The data is separated into two key components: the raw mass of the entire plant and the raw mass of the roots. This separation allows for a more nuanced understanding of how different sowing methods influence the partitioning of biomass within the plant.

The data indicate that the most intensive biomass accumulation occurred from July to September. In 2023, the highest aboveground biomass of plants was observed in the wide-row sowing with 45 cm row spacing, reaching 9355 g/10 plants on 10 September, while the root mass reached 10220 g/10 plants. Similar trends were observed in 2024, where the maximum biomass accumulation was also recorded in the wide-row sowing

with 45 cm row spacing (8359 g/10 plants of plant mass and 9945 g/10 plants of root mass).

Lower biomass accumulation was noted in the five-line sowing (20×5×50 cm) and two-line sowing (20×50 cm) treatments. Nevertheless, in all treatments, a gradual increase in plant and root biomass was observed throughout the growing season, reaching maximum values by October.

Thus, the results show that row spacing and sowing method significantly influence the growth dynamics and biomass accumulation of sugar beet plants under subsurface drip irrigation conditions.

Table 1 – Accumulation of biomass of sugar beet plants depending on tillage methods with subsurface drip irrigation, g/10 plants

Methods of sowing	Terms of definition				
	10.06	10.07	10.08	10.09	10.10
2023					
Wide-row seeding 60 cm	360*	3056	6346	8432	4863
	25**	1577	5880	12127	12380
Wide-row seeding 45 cm	403	3125	7854	9355	4486
	31	1441	5339	10220	10872
Two-line seeding 20x50 cm	577	2048	4884	6516	3021
	43	766	3792	8826	9066
Five-line seeding 20x5x50 cm	376	2156	3636	3744	2523
	32	522	2652	7742	8520
2024					
Wide-row seeding 60 cm	278	3252	5345	7356	4044
	16	1614	4373	10550	11672
Wide-row seeding 45 cm	382	3361	8566	8359	4012
	30	1522	5390	9945	10123
Two-line seeding 20x50 cm	506	2466	4027	6130	2745
	32	703	3028	8255	8421
Five-line seeding 20x5x50 cm	256	2055	3360	6062	2042
	16	406	2564	5932	6640
Note: *in the numerator is the raw mass of plants, **in the denominator is the raw mass of roots					

For instance, a particular sowing method might promote more vigorous root growth, while another might favor shoot development. These differences in biomass allocation can have significant implications for the plant's physiology, resource acquisition, and ultimately, its yield and quality. The results presented in Table 1 reveal that different sowing methods lead to variations in how sugar beet plants allocate resources to root and shoot growth. These variations can be attributed to a number of factors, including differences in plant spacing, access to light, and competition for resources. Understanding these relationships is crucial for optimizing sugar beet production. For example, a sowing method that results in higher root mass might enhance the plant's ability to uptake water and nutrients, particularly under conditions of water stress, and could also positively influence the final sugar content of the beet. Conversely, a method that promotes greater shoot mass might lead to more vigorous early growth and greater photosynthetic capacity, which could translate to higher overall biomass production. Furthermore, Table 1 illustrates the dynamics of biomass accumulation throughout the growing season. By tracking biomass changes over time, the study identifies critical growth stages where the effects of different sowing methods are most pronounced. This information is invaluable for informing agricultural management practices, such as irrigation and fertilization, ensuring that these inputs are applied at the times when the plants can most efficiently utilize them. Ultimately, the optimal balance between root and shoot growth, as influenced by the sowing method, will depend on the specific objectives of sugar beet production, whether it's maximizing sugar yield or total biomass. The biomass accumulation results highlight significant differences across sowing methods and seasons. In 2023, wide-row seeding at 45 cm showed the highest values in both early and late growth stages, particularly in October, indicating a steady increase in biomass accumulation over time. The five-line seeding method exhibited comparatively lower biomass accumulation, especially in the initial stages. However, by the end of the season, biomass values increased notably, suggesting that while growth may start off slower, the method facilitates higher final yields. The comparison

of data from 2024 indicates similar trends, although overall biomass accumulation appears to be slightly lower than in 2023. This variation could be attributed to environmental factors, irrigation management, or seasonal conditions affecting growth rates. One of the most striking findings is the impact of sowing density on biomass accumulation—denser configurations, such as five-line sowing, tend to limit early growth but ultimately contribute to higher yield efficiency when paired with optimal irrigation conditions. These results emphasize the importance of selecting appropriate sowing methods to maximize sugar beet growth under subsurface drip irrigation. While wide-row sowing at 45 cm appears advantageous in terms of early biomass accumulation, the five-line method shows promise for long-term yield potential, particularly with strategic irrigation management.

The results of a two-year field experiment (2023–2024) on sugar beet plant density depending on sowing methods (wide-row 60 cm, wide-row 45 cm, two-line 20×50 cm, and five-line 20×5×50 cm) and subsurface drip irrigation parameters, including drip tape sealing width (100, 125, and 150 cm) and sealing depth (20, 30, and 40 cm) (Table 2).

Plant density, defined as the number of plants per unit area, significantly influences final yield. If plant density is too high, plants compete intensely for limited resources such as sunlight, water, and nutrients. This competition can lead to smaller individual plant size, reduced root development, and ultimately, a decrease in overall yield. Conversely, if plant density is too low, resources remain underutilized, meaning the land's full productive potential is not realized. Table 2 focuses on plant density, a critical factor in crop production. This table examines how both the sowing method and the way the drip tape is sealed (specifically its width and depth) affect the final plant density achieved in the field. Effectively, it explores how these agricultural practices impact the number of established sugar beet plants. The data clearly show how irrigation layout and planting pattern influence the formation of plant stand density under irrigated conditions.

Table 2 – Density of sugar beet plants, depending on the methods of sowing and methods of sealing the tape of subsurface drip irrigation

The width of the drip tape seal	Depth of sealing of the drip tape	Methods of sowing							
		Wide-row seeding 60 cm		Wide-row seeding 45 cm		Two-line seeding 20x50 cm		Five-line seeding 20x5x50 cm	
		2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
100	20	11	13	15	16	20	22	25	25
	30	10	13	15	17	19	20	24	27
	40	10	11	14	16	19	21	24	27
125	20	10	11	14	15	19	21	23	25
	30	9	11	13	15	18	21	24	25
	40	9	10	13	13	18	19	23	27
150	20	9	8	11	11	14	15	21	23
	30	7	7	10	11	12	12	21	23
	40	7	7	9	9	12	12	20	20

In 2023, the highest plant density was consistently recorded under the five-line sowing system (20×5×50 cm) across all irrigation treatments. At a drip tape width of 100 cm, plant density ranged from 24 to 27 plants per unit area, depending on depth, with the maximum value observed at 30–40 cm sealing depth. Even at increased widths of 125 cm, the five-line system maintained relatively high density (23–27 plants), demonstrating strong stability. However, at 150 cm width, a noticeable reduction occurred, with values decreasing to 20–23 plants, indicating that wider spacing between drip lines reduces uniform emergence and plant establishment.

The two-line sowing system (20×50 cm) in 2023 showed moderate plant density. At 100 cm width, values ranged from 19 to 20 plants, while at 125 cm width, density slightly decreased to 18–19 plants. At the largest width of 150 cm, plant density dropped further to 12–14 plants, confirming reduced seedling establishment under less optimal moisture distribution.

The wide-row sowing at 45 cm demonstrated lower plant density compared to more intensive sowing systems. At 100 cm width, density ranged from 14 to 15 plants, while at 125 cm, it decreased slightly to 13–14 plants, and at 150 cm width, it further declined to 9–11 plants, showing a clear negative effect of increased drip spacing.

The lowest plant density in 2023 was observed under wide-row sowing at 60 cm, especially under wider drip tape spacing. At 100 cm width, the density was 10–11 plants, while at 125 cm width, it decreased to 9–10

plants, and at 150 cm width, it reached the minimum values of 7–9 plants.

In 2024, a generally similar pattern was observed, although slight improvements in plant density occurred in several treatments, indicating better field emergence conditions in the second year.

The five-line sowing system again showed the highest and most stable plant density. At 100 cm width, values ranged from 25 to 27 plants, which was the maximum observed in the experiment. Even at 125 cm width, density remained high (23–27 plants), while at 150 cm width, a reduction was observed but still remained relatively stable (20–23 plants).

The two-line sowing system in 2024 also showed improved or stable performance compared to 2023. At 100 cm width, plant density reached 20–22 plants, while at 125 cm width, it remained at 19–21 plants. However, at 150 cm width, density decreased to 12–15 plants, confirming sensitivity to irrigation spacing.

The wide-row sowing at 45 cm in 2024 showed moderate density levels, ranging from 15–16 plants at 100 cm width, decreasing to 13–15 plants at 125 cm, and further to 9–11 plants at 150 cm width.

The lowest plant density in 2024 was again recorded under wide-row sowing at 60 cm, where values ranged from 11–13 plants at 100 cm width, decreasing to 7–11 plants at 125 cm width, and reaching the minimum of 7–8 plants at 150 cm width.

Overall, the results clearly demonstrate that plant density is strongly influenced by both sowing method and drip tape placement parameters. The most favorable conditions for plant establishment were observed at a drip tape width of 100 cm, which ensured more uniform moisture distribution and higher emergence rates across all sowing methods. Increasing the width to 125 cm led to a slight reduction in plant density, while 150 cm caused a significant decrease, especially in wide-row sowing systems.

Among sowing methods, the five-line system consistently provided the highest and most stable plant density, followed by the two-line system. In contrast, wide-row sowing, particularly at 60 cm spacing, showed the lowest plant density values, indicating lower efficiency under subsurface drip irrigation conditions.

Table 3 presents the results of a two-year field experiment (2023–2024) on weed infestation (contamination) of sugar beet crops depending on different sowing methods (wide-row 60 cm, wide-row 45 cm, two-line 20×50 cm, and five-line 20×5×50 cm), subsurface drip irrigation parameters (drip tape sealing depth of 20, 30, and 40 cm), and weed control strategies (mechanical, chemical, and combined mechanical + chemical control). Weed infestation was evaluated at two growth stages: at the beginning of the growing season and at the end of the growing season.

Across both years, the results clearly demonstrate that weed infestation is strongly influenced by the interaction between sowing density, irrigation configuration, and weed control method. In all treatments, weed infestation was significantly higher at the beginning of the growing season, while it decreased substantially by the end of the season due to crop development, canopy closure, and applied weed control measures. The data also show that higher plant density systems and integrated weed management significantly reduce weed pressure.

At the beginning of the growing season in 2023, weed infestation was at its highest level across all treatments. The most severe contamination was observed under wide-row sowing at 60 cm with mechanical control, where weed density reached 347–366 plants/m² depending on drip tape depth. Similarly, wide-row sowing at 45 cm also showed high weed pressure, ranging from 338 to 376 plants/m², indicating low early competitive ability of the crop in low-density planting systems.

The two-line sowing system (20×50 cm) also showed relatively high weed infestation (342–360 plants/m²), although slightly lower than wide-row systems. This confirms that moderate planting density still provides insufficient early canopy coverage for effective weed suppression.

In contrast, the five-line sowing system (20×5×50 cm) demonstrated comparatively lower weed infestation values, ranging from 302 to 356 plants/m², especially when the drip tape was placed at 40 cm depth, indicating improved moisture distribution and faster crop establishment, which enhanced weed competitiveness.

Regarding weed control methods, chemical and integrated (mechanical + chemical) treatments significantly reduced weed infestation compared to mechanical control alone. For example, under five-line sowing, chemical control reduced weed density to 47–60 plants/m², while integrated control maintained levels around 51–66 plants/m², which is substantially lower than mechanical-only treatments.

Table 3 – Contamination of sugar beet crops depending on the methods of sowing and subsurface drip irrigation

Methods of sowing	Ways to control weeds	Terms of definition					
		at the beginning of the growing season			at the end of the growing season		
		Depth of sealing of the drip tape, cm					
		20	30	40	20	30	40
2023							
Wide-row seeding 60 cm	* mechanical	347	366	354	152	144	116
	** chemical	51	35	32	17	15	13
	*** mechanical+chemical	60	51	58	13	20	15
Wide-row seeding 45 cm	mechanical	338	376	342	162	160	128
	chemical	63	52	57	20	17	12
	mechanical+chemical	54	54	62	28	20	14
Two-line seeding 20x50 cm	mechanical	360	342	355	145	152	102
	chemical	51	49	30	32	27	22
	mechanical+chemical	63	66	54	36	31	18
Five-line seeding 20x5x50 cm	mechanical	356	341	302	13	10	7
	chemical	60	47	51	11	13	6
	mechanical+chemical	53	66	62	17	12	6
2024							
Wide-row seeding 60 cm	mechanical	233	247	256	102	97	65
	chemical	61	47	52	12	15	9
	mechanical+chemical	56	50	45	13	9	5
Wide-row seeding 45 cm	mechanical	236	253	233	83	80	42
	chemical	72	43	37	18	17	5
	mechanical+chemical	52	48	42	17	17	7
Two-line seeding 20x50 cm	mechanical	225	202	219	101	83	52
	chemical	44	53	50	20	17	15
	mechanical+chemical	59	63	57	20	14	11
Five-line seeding 20x5x50 cm	mechanical	233	251	250	13	11	5
	chemical	54	43	57	12	9	6
	mechanical+chemical	47	45	52	15	8	4
*mechanical weeding in the phase of 2-3 pairs of leaves, and before closing the leaves in the aisles							
**application of Dual-Gold herbicide to the soil at the rate of 1.5 l/ha before sowing sugar beet and spraying with Fusilade Forte herbicide at the rate of 1.0 l/ha as weeds appear							
*** application of Dual-Gold herbicide to the soil at the rate of 1.5 liters/ha before sowing sugar beet and mechanical weeding before closing the leaves in the aisles							

In 2024, early-season weed infestation followed the same general pattern as in 2023, although some treatments showed slightly lower values, suggesting improved field conditions or management practices.

Under wide-row sowing at 60 cm with mechanical control, weed infestation ranged from 233 to 256 plants/m², which remained the highest among all treatments. The wide-row 45 cm system also showed high weed density (233–253 plants/m²), while the two-line system ranged from 202 to 225 plants/m².

The five-line sowing system again demonstrated relatively lower weed infestation, with values ranging from 233 to 251 plants/m² under mechanical control, but significantly lower levels under chemical and integrated treatments. This confirms that higher crop density improves early-season competitiveness.

Chemical and integrated weed control methods again proved more effective, reducing weed infestation in most cases to 37–61 plants/m², depending on sowing method and drip tape depth.

The analysis of Table 3 clearly shows that: Weed infestation is highest at the beginning of the growing season and decreases significantly by harvest due to crop development and weed control measures; Five-line sowing (20×5×50 cm) provides the most effective suppression of weeds due to high plant density, faster canopy closure, and better resource utilization; Wide-row sowing (especially 60 cm) consistently shows the highest weed infestation due to slower canopy development and weaker crop competitiveness; Chemical and integrated weed control methods are significantly more effective than mechanical control alone in reducing weed pressure; Subsurface drip irrigation depth (especially 30–40 cm) contributes to better crop establishment and indirectly reduces weed infestation by improving crop vigor.

Overall, the results confirm that the most effective strategy for weed management in sugar beet under subsurface drip irrigation is the combination of high-density sowing systems, optimal irrigation design, and integrated weed control methods, which together ensure the lowest weed infestation levels throughout the growing season.

To confirm the statistical significance of the differences, analysis of variance (ANOVA) was performed with the calculation of the least significant difference ($LSD_{0.05}$) according to the method of B.A. Dospekhov.

Table 4 summarizes the results of a two-year field experiment (2023–2024) evaluating the influence of different sowing methods, drip tape sealing width (100, 125, and 150 cm), and sealing depth (20, 30, and 40 cm) on sugar beet yield. The data clearly demonstrate a strong interaction between planting configuration and subsurface drip irrigation parameters, which significantly affects crop productivity under irrigated light chestnut soils of southeastern Kazakhstan.

Table 4 – Sugar beet yield depending on tillage methods and drip pipe sealing, kg/ha

Methods of sowing	The width of the drip tape seal, cm								
	100			125			150		
	Depth of sealing of the drip tape, cm								
	20	30	40	20	30	40	20	30	40
2023									
Wide-row seeding 60 cm	1417,6	1304,6	1361,8	1042,0	1218,2	1114,6	1004,2	860,0	866,6
Wide-row seeding 45 cm	1600,6	1540,1	1520,8	1527,1	1466,2	1413,4	1294,6	1085,2	978,5
Two-line seeding 20x50 cm	1714,7	1742,3	1722,5	1702,4	1636,7	1631,9	1269,9	1204,1	1159,2
Five-line seeding 20x5x50 cm	2030,0	1996,1	2044,7	2000,8	2034,5	1959,6	1800,3	1776,7	1704,0
LSD, c/ha	95,4								
2024									
Wide-row seeding 60 cm	1527,6	1509,4	1283,9	1292,2	1265,9	1167,2	903,7	845,4	817,0
Wide-row seeding 45 cm	1729,3	1852,0	1619,7	1545,5	1513,0	1413,4	1036,7	1011,3	911,1
Two-line seeding 20x50 cm	1850,5	1786,2	1768,4	1765,4	1747,8	1600,0	1223,8	1043,6	1010,5
Five-line seeding 20x5x50 cm	1760,3	1765,9	1792,8	1666,0	1679,3	1792,8	1537,7	1505,2	1328,0
LSD, c/ha	82,8								

In 2023, the most productive treatment combination was observed under the five-line sowing system (20×5×50 cm). At a drip tape width of 100 cm, yields were consistently high across all depths, ranging from 1996.1 to 2044.7 c/ha, with the maximum value of 2044.7 c/ha recorded at a sealing depth of 40 cm. Even at 20 and 30 cm depths, yields remained above 1990 c/ha, indicating the stability of this sowing system under optimal irrigation layout.

When the drip tape width increased to 125 cm, a slight reduction in yield was observed, although the five-line system still maintained high productivity, ranging from 1959.6 to 2034.5 c/ha. However, further widening to 150 cm led to a more pronounced decline, with yields decreasing to 1704.0–1800.3 c/ha, showing that excessive spacing between drip lines reduces water and nutrient availability in the root zone.

The two-line sowing system (20×50 cm) showed moderately high productivity in 2023. At 100 cm width, yields ranged from 1714.7 to 1742.3 c/ha, while at 125 cm width they slightly decreased to around 1631.9–1702.4 c/ha. At 150 cm width, a sharper reduction was recorded, with yields dropping to 1159.2–1269.9 c/ha, indicating higher sensitivity of this sowing system to irrigation distribution.

The wide-row sowing at 45 cm demonstrated intermediate performance. At 100 cm drip tape width, yields ranged from 1520.8 to 1600.6 c/ha, while at 125 cm width they decreased to 1413.4–1527.1 c/ha, and further declined at 150 cm width to 978.5–1294.6 c/ha.

The lowest productivity in 2023 was recorded under wide-row sowing at 60 cm, particularly at the largest drip tape width. At 100 cm width, yields varied between 1304.6–1417.6 c/ha, while at 125 cm width they dropped to 1042.0–1218.2 c/ha, and reached minimum values of 860.0–1004.2 c/ha at 150 cm width. This

confirms that wider row spacing combined with wider drip tape placement significantly limits crop performance.

The $LSD_{0.05}$ value of 95.4 c/ha indicates that most differences between treatments in 2023 were statistically significant.

In 2024, the overall pattern remained consistent, although absolute yield levels slightly increased in some treatments due to more favorable growing conditions.

The highest yields in 2024 were recorded under the wide-row sowing at 45 cm, reaching up to 1852.0 c/ha at 100 cm width and 30 cm depth. This indicates improved efficiency of this system under optimal irrigation conditions in the second year. Similarly, the two-line sowing system showed very high productivity, with a maximum of 1850.5 c/ha at 100 cm width and 20 cm depth, confirming its stability and adaptability.

The five-line sowing system also maintained high yields in 2024, ranging from 1760.3 to 1792.8 c/ha at 100 cm width, while at 125 cm width, yields remained high but slightly reduced (1666.0–1792.8 c/ha). However, at 150 cm width, yields decreased more noticeably to 1328.0–1537.7 c/ha, confirming the negative effect of excessive drip line spacing even under multi-row sowing systems.

For the wide-row sowing at 60 cm, yields remained the lowest across all irrigation treatments. At 100 cm width, productivity ranged from 1283.9 to 1527.6 c/ha, while at 125 cm width it declined to 1167.2–1292.2 c/ha, and at 150 cm width dropped further to 817.0–903.7 c/ha, which represents the minimum recorded yield in the experiment.

The $LSD_{0.05}$ value of 82.8 c/ha confirms that differences between treatments in 2024 were also statistically significant.

Overall, the data clearly show that the most favorable conditions for sugar beet yield formation were achieved when the drip tape was placed at a width of 100 cm, regardless of sowing method. Increasing the width to 125 cm caused moderate yield reduction, while 150 cm significantly decreased productivity in all cases. In terms of sowing methods, the five-line and two-line systems consistently demonstrated the highest and most stable yields, while wide-row sowing at 60 cm was the least effective.

Additionally, the results indicate that the interaction between drip tape depth and sowing method is important, with depths of 20–30 cm generally providing the most stable and high yields, ensuring optimal moisture and nutrient availability in the root zone.

Conclusion.

Based on the results obtained during the 2023–2024 growing seasons, it was established that the formation of sugar beet productivity under subsurface drip irrigation largely depends on the sowing method, as well as the width and depth of drip tape placement.

The dynamics of biomass accumulation showed that the most intensive plant growth occurred during the period from July to September, with a gradual increase in both aboveground and root mass until the end of the growing season. Sowing methods significantly influenced plant development, plant density, weed infestation, and final yield. Among the studied sowing methods, the five-line sowing (20×5×50 cm) and the two-line sowing (20×50 cm) ensured higher plant density and more favorable conditions for crop growth compared with wide-row sowing. At the same time, the wide-row sowing with 45 cm spacing demonstrated relatively high productivity in certain variants. The results also showed that the width of drip tape placement significantly affected crop productivity. Reducing the width to 100 cm contributed to higher yields across all sowing methods, whereas increasing it to 150 cm resulted in a noticeable decrease in yield. The optimal depth of drip tape placement was 20–30 cm, which provided favorable conditions for root development and water supply to plants.

The differences between the treatments in terms of weed infestation by the end of the growing season were statistically significant, as they exceeded the $LSD_{0.05}$ value ($p = 0.05$). The lowest weed infestation (4–6 plants/m²) was obtained with the five-line sowing method, a drip tape placement depth of 40 cm, and a combined protection system, which was significantly lower compared with the mechanical weed control method. Weed infestation of the crops strongly depended on the applied weed control system. The combined method (mechanical + chemical) proved to be the most effective, ensuring a stable reduction in weed population throughout the growing season. The lowest weed infestation (4–6 plants/m²) was recorded with five-line sowing, a drip tape placement depth of 40 cm, and the combined weed control system, with statistically significant differences compared to the mechanical method.

Thus, under the conditions of subsurface drip irrigation, the optimal combination of agrotechnical practices for sugar beet cultivation includes the use of five-line or two-line sowing methods, a drip tape placement

width of 100 cm, and a placement depth of 20–30 cm, along with the application of a combined weed control system, which ensures stable plant development and high crop productivity.

REFERENCES

- Abdukadirova, Z. A., Kurmanbayeva, M. S., & Ospanbayev, Z. O. (2016). Effect of mulch on soybean (*Glycine max* L. Merr.) cultivation under drip irrigation in southeast Kazakhstan. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13(2), 751–759. <https://doi.org/10.13005/bbra/2094>
- Ayars, J. E., Phene, C. J., Hutmacher, R. B., Davis, K. R., Schoneman, R. A., & Vali, S. S. (1999). Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the water management research laboratory. *Agricultural Water Management*, 42, 1–27. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00025-6)
- Beisenbayeva, M., Seilkhan, A., Sydyk, D., Zhapparova, A., Kaldybayev, S., Azat, S., & Bassygarayev, Z. (2021). Soybean productivity as influenced by irrigation regime and fertilizer rates in South Kazakhstan conditions. *Research on Crops*, 22(3), 526–535.
- Borówcak, F., & Grześ, S. (2002). The influence of irrigation, foliar fertilization and nitrogen application on root yields and economic effects of sugar beet cultivation. *Biuletyn IHAR*, 222, 204–213.
- Kenenbayev, S., Yessenbayeva, G., Zhanbyrbayev, Y., Yelnazarkyzy, R., Nurgaziev, R., Seitkadyr, K., Muzdybayeva, K., & Seilkhan, A. (2022). Adaptation of Serbian winter pea (*Pisum sativum*) varieties in the foothills zone of southeast Kazakhstan. *Research on Crops*, 23(1), 149–155.
- Kenenbayev, S. B., Ospanbayev, Z. O., Kydyrov, A. K., Musagodzhaev, N. T., & Aristangulov, S. S. (2016). Effectiveness of sugar beet cultivation under drip irrigation in south-east Kazakhstan. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13(2), 917–924. <https://doi.org/10.13005/bbra/2115>
- Kiymaz, S., & Ertek, A. (2015). Water use and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under drip irrigation at different water regimes. *Agricultural Water Management*, 158, 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.005>
- KazAgro. (2014). Analytical collection of the sugar market. KazAgro.
- Ospanbayev Zh., Sepbaev D.A., Zhapaev R.K., Sembayeva A.S., Doszhanova A.S., Maibasova A.S., Mombek A.M. (2024). Izuchenie effektivnosti vozdeliyaniya pokrovnykh kul'tur v povyshenii produktivnosti oroshaemoy pashni i snizhenii vybroso parnikovyykh gazov v atmosferu [Study of the effectiveness of cover crop cultivation in increasing the productivity of irrigated arable land and reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere]. *Research, Results*. 2(2-1), 113-128, <https://doi.org/10.37884/2-1-2024/546> [in Russ.]
- Ospanbayev, Z. O., Kurmanbayeva, M. S., Abdukadirova, Z. A., Doszhanova, A. S., Nazarbekova, S. T., Inelova, Z. A., Abilaikhanova, N. T., Kenenbayev, S. B., & Musina, A. S. (2017). Water use efficiency of rice and soybean under drip irrigation with mulch in the south-east of Kazakhstan. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(4), 1581–1603. https://doi.org/10.15666/aecer/1504_15811603
- Prasher, P., Sharma, M., Singh, S. K., Gulati, M., Chellappan, D. K., Rajput, R., Gupta, G., Ydyrys, A., Kulbayeva, M., Abdull Razis, A. F., Modu, B., Sharifi-Rad, J., & Dua, K. (2023). Spermidine as a promising anticancer agent: Recent advances and newer insights on its molecular mechanisms. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1164477. <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1164477>
- Raina, J. N., Thakur, B. C., & Bhandari, R. (1998). Effect of drip irrigation and plastic mulch on yield, water use efficiency and benefit–cost ratio of pea cultivation. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 46, 562–567.
- Rehman, G., Muhammad, J., Ilyas, M., Subhanullah, M., Ullah, K., Massimzhan, M., & Toktar, M. (2024). Phytoremediation of heavy metals from soil and their effects on plant physiology. *ES Materials & Manufacturing*, 26, 1298. <https://doi.org/10.30919/esmm1298>
- Rzekanowski, C., Źarski, J., Dudek, S., Rolbiecki, S., & Rolbiecki, R. (2005). Irrigation as a countermeasure for sugar beet yield decreases during dry years on light soils. *Water Environment Rural Areas*, 5, 287–300.
- Seyfi, K., & Rashidi, M. (2007). Effect of drip irrigation and plastic mulch on crop yield and yield components of cantaloupe. *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(2), 247–249.
- Sharmasarkar, F. C., Sharmasarkar, S., Miller, S. D., Vance, G. F., & Zhang, R. (2001). Assessment of drip and flood irrigation on water and fertilizer use efficiencies for sugar beets. *Agricultural Water Management*, 46(3), 241–251. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00090-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00090-1)
- Studnicki, M., Lenartowicz, T., Noras, K., Wójcik-Gront, E., & Wyszynski, Z. (2019). Assessment of stability and adaptation patterns of white sugar yield from sugar beet cultivars in temperate climate environments. *Agronomy*, 9, 514–521. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>
- Turebayeva, S., Sydyk, D., Seilkhan, A., Kazybaeva, A., Zhanbyrbayev, Y., Dossymbetova, S., & Abdrassulova, Z. (2021). Productivity of winter wheat (*Triticum aestivum*) as influenced by fertilizer rates in rainfed fields of south Kazakhstan. *Research on Crops*, 22(4), 747–758.
- Ydyrys, A., Abdolla, N., Seilkhan, A., Masimzhan, M., & Karasholakova, L. (2020). Importance of geobotanical studies in agriculture (with the example of the Sugaty region). *E3S Web of Conferences*, 222, 04003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022204003>
- Źarski, J., Kuśmierk-Tomaszewska, R., & Dudek, S. (2020). Impact of irrigation and fertigation on the yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in a moderate climate. *Agronomy*, 10(2), 166–172. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020166>

Author Contributions:

Doszhanova A. – research methodology, analysis, and interpretation of the results.

Ospanbayev Zh. – development of the research concept and scientific supervision.

Sembayeva A. – conducting the research, data collection and processing, preparation of the original draft of the manuscript, manuscript editing, and article formatting.

Abdukhaimova Sh. – participation in conducting experiments, processing of research materials, and preparation of individual sections of the manuscript.

All authors made a significant contribution to the preparation of the article, reviewed and approved the final version of the manuscript.



V.I. Kobernitsky*, V.A. Volobaeva, I.A. Zhirnova

LLP «Scientific and Production Center of Grain Farming named after A. I. Baraev», Nauchny village,
Shortandinsky district, Akmola, Kazakhstan.

E-mail: vkobernitsky@mail.ru

DYNAMICS OF THE LEAF SURFACE OF WHEAT IN THE STEPPE ZONE OF KAZAKHSTAN

Kobernitsky Vladimir Ivanovich, candidate of agricultural sciences, head of the Laboratory of Cereals and Grain Forage Crops, LLP “Scientific and Production Center of Grain Farming named after A.I. Baraev”, Nauchny village, Shortandinsky district, Akmola region, Kazakhstan

E-mail: vkobernitsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5395-0371>;

Volobaeva Vera Alekseevna, junior researcher of the Laboratory of Cereals and Grain Forage Crops, LLP “Scientific and Production Center for Grain Farming named after A.I. Baraev”, Nauchny village, Shortandinsky district, Akmola region, Kazakhstan

E-mail: volobaevavera85@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9216-7366>;

Zhirnova Irina Alexandrovna, PhD, head of the Laboratory of Genetic Resources of Cereal Crops, LLP “Scientific and Production Center for Grain Farming named after A.I. Baraev”, Nauchny village, Shortandinsky district, Akmola region, Kazakhstan

E-mail: ira777.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1716-8793>.

Abstract. *Introduction.* The paper presents the main results of studying leaf surface formation in spring soft wheat grown under steppe conditions of the Akmola region. *Materials and methods.* The study included the spring wheat varieties Asyl Sapa, Astana, and Shortandinskaya 95 Uluchshennaya. Two cultivation backgrounds were used: flat-cut fallow and stubble. In the previous year, flat-cut fallow was cultivated three times to a depth of 12–17 cm, followed by deep autumn tillage at 23–27 cm. *Results and discussion.* Grain crops were cultivated on a stubble background for four years. Observations were carried out during the main growth stages: tillering–stem elongation, heading, milk ripeness, and full maturity. Three methods were used to determine leaf surface area: linear measurement, measurement, and punch methods. Their comparison allowed an objective assessment of the studied trait and identification of the most effective and low-cost method for practical use. *Conclusions.* The largest leaf surface area was formed during the heading stage. According to total leaf area, varieties were ranked as follows: Shortandinskaya 95 Uluchshennaya, Asyl Sapa, and Astana. Growing conditions significantly affected trait expression. Under stubble conditions, leaf area values were 29.6–33.5 at tillering–stem elongation, 42.1–55.2 at heading, 24.5–28.3 at milk ripeness, and 6.2–8.1 cm² at maturity. Under fallow conditions, the corresponding values were 28.6–31.2, 44.2–54.6, 37.5–42.7, and 21.1–27.9. The linear measurement method is recommended as the most accurate and effective for studying assimilation surface dynamics. The results can be applied in breeding, seed production, and plant physiology.

Keywords: wheat, variety, leaf area, development phase, assimilation surface

For citation: Kobernitsky V.I., Volobaeva V.A., Zhirnova I.A. (2026). Studying the dynamics of the leaf surface of soft wheat in the steppe region of Kazakhstan // conditions // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 84–93. <https://doi.org/10.37884/3-2026/07> [in Russ.].

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

Funding: This work was carried out under the 2024–2026 Targeted Funding Program of the Ministry

of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, BR24892821 "Breeding and primary seed production of cereal crops to enhance productivity, quality, and stress tolerance in various soil and climatic zones of Kazakhstan." The authors express their gratitude to the staff of the Department of Cereal and Grain Crops for their assistance in conducting the presented research.

В.И. Коберницкий*, В.А. Волобаева, И.А. Жирнова

Бараев А.И. атындағы «Астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС,
Научный ауылы, Шортанды ауданы, Ақмола облысы, Қазақстан.
E-mai: vkobernitsky@mail.ru

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ДАЛА АЙМАҒЫНДАҒЫ БИДАЙДЫҢ ЖАПЫРАҚ БЕТІНІҢ ДИНАМИКАСЫ

Коберницкий Владимир Иванович, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, меңгерушісі. А.И. Бараев атындағы «Астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС дәнді және дәнді дақылдар зертханасы. Научный ауылы, Шортанды ауданы, Ақмола облысы, Қазақстан
E-mail: vkobernitsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5395-0371>;

Волобаева Вера Алексеевна, А.И. Бараев атындағы «Астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС дәнді және дәнді дақылдар зертханасының кіші ғылыми қызметкері. Научный ауылы, Шортанды ауданы, Ақмола облысы, Қазақстан
E-mail: volobaevavera85@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9216-7366>;

Жирнова Ирина Александровна, PhD, дәнді дақылдардың генетикалық ресурстары зертханасының меңгерушісі, А. И. Бараев атындағы «Астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС. Научный ауылы, Шортанды ауданы, Ақмола облысы, Қазақстан
E-mail: ira777.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1716-8793>.

Аннотация. *Кіріспе.* Жұмыста Ақмола облысының дала аймағында өсіру кезінде жаздық жұмсақ бидайдың жапырақ бетінің ауданын қалыптастыру ерекшеліктерін зерттеудің негізгі нәтижелері келтірілген. *Материалдар мен әдістер.* Зерттеулер жаздық бидайдың үш сортында жүргізілді: Асыл Сапа, Астана және Шортанды 95 жақсартылған. Сорттарды сынау кезінде өсіру үшін екі Фон қолданылды - таза жалпақ бу және сабан. Өткен жылы жалпақ кескіш бу 12–17 см тереңдікке үш рет өңделді, күздің соңғы терең өңдеуі 23–27 см болды. *Нәтижелер мен талқылау.* Дәнді дақылдар төрт жыл бойы сабан фонында өсірілді. Жапырақ бетінің қалыптасуын бақылау өсімдіктердің бүкіл вегетациялық кезеңінде жүргізілді. Бірінші кезең-қопсыту кезеңі-түтікке шығу, екінші кезең-шоқтың басталуы, үшінші кезең-Гүлдену-сүттің пісуі, төртіншісі-жаздық бидайдың толық пісуі. Зерттеуде жапырақ бетінің ауданын зерттеудің үш әдісі қолданылды-сызықтық өлшеу әдісі, өлшеу әдісі және кесу әдісі. Зерттеудің үш әдісін салыстыру зерттелетін белгіге объективті баға беруге және практикалық қолдану үшін көрсеткіштерді бағалаудың ең тиімді және арзан (жоғары өнімді) әдісін ұсынуға мүмкіндік берді. *Қорытындылар.* Сорттың жапырақ бетінің ең үлкен ауданы шыбықтың басталу кезеңінде қалыптасқаны анықталды. Жапырақ алаңының жиынтық көрсеткіштері бойынша олар мынадай тәртіппен орналастырылды: Шортанды 95 улущенная-Асыл Сапа-Астана. Өсіру аясы белгінің ауырлығына айтарлықтай әсер етті, сондықтан сорттардың сабанында есептеу кезеңдері бойынша келесі көрсеткіштер болды: қопсыту-түтікке шығу 29,6–33,5; басталуы-42,1–55,2; сүттің пісуі-24,5–28,3; пісуі 6,2–8,1 см 2. Жұп бойынша мәндер сәйкесінше шектерде өзгерді 28,6–31,2; 44,2–54,6; 37,5–42,7; 21,1–27,9. Ассимиляция бетінің өсу динамикасын зерттеу үшін ең дәл және тиімді сызықтық өлшеу әдісі ұсынылады. Нәтижелерді пайдалану саласы-селекция және тұқым шаруашылығы, өсімдіктер физиологиясы.

Түйін сөздер: бидай, сорт, жапырақ ауданы, даму кезеңі, ассимиляция беті

Дәйексөз үшін: Коберницкий В.И., Волобаева В.А., Жирнова И.А. (2026). Қазақстанның дала аймағындағы жұмсақ бидайдың жапырақ бетінің динамикасын зерттеу // Research, results – Исденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 84–93. <https://doi.org/10.37884/3-2026/07> [in Russ.].

Мүдделер қақтығысы: авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Алғыс: ұсынылған жұмыс Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігінің 2024-2026 жылғы BR24892821 «Қазақстанның әртүрлі топырақ-климаттық аймақтарында өнімділік әлеуетін, сапасын және стресске төзімділігін арттыру үшін дәнді дақылдарды іріктеу және бастапқы тұқым шаруашылығы» бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде орындалды. Авторлар ұсынылған зерттеулерді орындауға жәрдемдескен дәнді және жарма дақылдары бөлімінің қызметкерлеріне алғыстарын білдіреді.

В.И. Коберницкий*, В.А. Волобаева, И.А. Жирнова

ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», Научный,
Шортандинский, Акмолинская обл., Казахстан.
E-mail: vkobernitsky@mail.ru*

ДИНАМИКА ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПШЕНИЦЫ СТЕПНОЙ ЗОНЫ КАЗАХСТАНА

Коберницкий Владимир Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией крупяных и зернофуражных культур, ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Шортанды, Акмолинская обл., Казахстан
E-mail: vkobernitsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5395-0371>;

Волобаева Вера Алексеевна, младший научный сотрудник лаборатории крупяных и зернофуражных культур, ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Шортанды, Акмолинская обл., Казахстан
E-mail: volobaevavera85@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9216-7366>;

Жирнова Ирина Александровна - PhD, заведующий лабораторией Генетических ресурсов зерновых культур, ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Шортанды, Акмолинская обл., Казахстан
E-mail: ira777.89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-17168793>.

Аннотация. *Введение.* В работе представлены основные результаты изучения особенностей формирования площади листовой поверхности яровой мягкой пшеницы при выращивании в условиях степной зоны Акмолинской области. *Материалы и методы.* Исследования проведены на трех сортах яровой пшеницы: Асыл Сапа, Астана и Шортандинская 95 Улучшенная. При испытании сортов были использованы два фона для возделывания – чистый плоскорезный пар и стерня. Плоскорезный пар в предыдущем году обрабатывался три раза на глубину 12–17 см с заключительной глубокой осенней обработкой на 23–27 см. *Результаты и обсуждение.* На стерневом фоне возделывались зерновые культуры в течение четырех лет. Наблюдения за формированием листовой поверхности осуществлялись в течение всей вегетации растений. Первый этап – фаза кущения-выход в трубку, второй этап – начало колошения, третий этап – цветение-молочная спелость, четвертый-полная спелость яровой пшеницы. В исследовании использованы три метода изучения площади листовой поверхности – метод линейных измерений, метод промеров и метод высечек. Сравнение трех методов изучения позволило дать объективную оценку изучаемому признаку и рекомендовать наиболее эффективный и малозатратный (высокопроизводительный) способ оценки показателей для практического применения. *Выводы.* Установлено, что наибольшую площадь листовой поверхности сорта формировали в фазу начало колошения. По суммарным показателям площади листьев они располагались в следующем порядке: Шортандинская 95 Улучшенная – Асыл Сапа – Астана. Фон выращивания оказал заметное влияние на выраженность признака, так на стерне сорта имели следующие показатели по фазам учета кущение – выход в трубку 29,6–33,5; начало колошение – 42,1–55,2; молочная спелость – 24,5–28,3; созревание – 6,2–8,1 см². По паре значения изменялись соответственно в пределах 28,6–31,2; 44,2–54,6; 37,5–42,7; 21,1–27,9. Для изучения динамики нарастания ассимиляционной поверхности рекомендуется метод линейных измерений, наиболее точный и эффективный. *Область использования результатов* – селекция и семеноводство, физиология растений.

Ключевые слова: пшеница, сорт, фаза развития, площадь листьев, ассимиляционная поверхность

Для цитирования: Коберницкий В.И., Волобаева В.А., Жирнова И.А. (2026). Изучение ди-

намики листовой поверхности мягкой пшеницы в степном регионе Казахстана // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 84–93. <https://doi.org/10.37884/3-2026/07> [in Russ.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность: представленная работа выполнена в рамках Программно-целевого финансирования 2024-2026 года Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан BR24892821 «Селекция и первичное семеноводство зерновых культур для повышения потенциала продуктивности, качества и стрессоустойчивости в различных почвенно-климатических зонах Казахстана». Авторы выражают благодарность сотрудникам отдела зерновых и крупяных культур, оказавших содействие в выполнении представленных исследований.

Введение.

Пшеница – важная продовольственная культура, обеспечивающая большую часть мирового производства зерна, а также являющаяся ключевым источником растительного белка. Так как ее зерно богато витаминами группы В, минералами, это делает культуру основой питания, используя для производства макаронных изделий, муки, круп, кормов для животных. Приоритетной задачей агропромышленного комплекса – повышение урожайности этой культуры.

Ассимиляционная площадь листовой поверхности пшеницы является многофакторным показателем, играющим значительную роль в формировании урожая. [Al-Kaisi, 2022; Li, 2025]. В дан-ной работе мы изучим закономерности формирования фотосинтетического аппарата на примере не-скольких сортов пшеницы, с помощью методики расчета площади листьев, как ключевого индикатора состояния посевов. [Шестакова, 2021; Ганизода, 2021]. Задачи исследования: оценить роль ассимиля-ционной поверхности в накоплении органического вещества и изучить факторы, влияющие на дина-мику роста листьев [Курбанов, 2024; Лиховидова, 2024].

Понимание факторов, влияющих на площадь листовой поверхности с совместным применением агрономических практик, направленных на ее оптимизацию, позволят сельхозпроизводителям макси-мально реализовать генетический потенциал сортов пшеницы и обеспечить продовольственную безо-пасность страны [Косенко, 2023; Николаев, 2021; Ахметов, 2026].

Материалы и методы исследований.

Определение динамики формирования площади листьев в онтогенезе позволяет нам дать сравнительную характеристику перспективных сортов пшеницы. Исследования проведены на полевых стационарах ТОО «НПЦЗХ им. А.И. Бараева» (Акмолинская область) в 2022–2024 гг. Посев проведен 23 мая селекционной сеялкой ССФК-7. Исследования проводились на двух фонах: увлажненном и по стерне. Так как листовая поверхность является одним из главных условий создания высоких урожаев, мы определяли площадь листьев изучающихся сортов в важнейшие фазы развития. Для определения площади нами были выделены 4 основных этапов онтогенеза зерновых злаковых культур:

- 1) 12–16 июля – кущение-выход в трубку;
- 2) 26–30 июля – начало колошения;
- 3) 18–22 августа – цветение-молочная спелость;
- 4) 1–4 сентября – полная спелость.

В качестве исходного материала нами использовали такие сорта пшеницы, как Шортандинская 95 улучшенная, Асыл Сапа и Астана.

Растительные пробы брались в каждую фазу на 10 растениях. Растения брались с учетной делян-ки площадью 1 м². Для определения площади листовой поверхности мы использовали 3 метода: метод высечек (МВ), метод промеров (МП) и метод линейных измерений.

Метод высечек. Применяется для большинства сельскохозяйственных культур. Для этого отби-рали среднюю пробу 10–15 растений (N), срезали листья и определяют их сырую массу (Мл). Склады-вали листья стопками, и делали сверлом высечки определенного диаметра, по 5–10 штук с одного ли-ста. Высечки брали так, чтобы в пробу попали и пластинки листа, и центральные жилки. Определяли массу всех сырых высечек (Мв). Площадь листьев одного растения определяли по формуле:

$$S = \frac{M_{\text{лх}} \times \pi \times D^2}{M_{\text{в}} \times N \times 4 \times 10000} \quad (1)$$

где S – площадь листьев одного растения, м²; Мл – масса листьев в пробе, г; Мв – масса высечек,

г; а – количество высечек, шт; N – количество растений в пробе, шт; Д – диаметр сверла, см, в наших измерениях им является высечка диаметром 7мм; число π – 3,14.

Метод измерения линейных параметров. Определение площади листьев также проводили по формуле:

$$S = 0,67A \times B \quad (2)$$

где А – наибольшая ширина листьев, см; В – длина листьев, см; 0,67 – поправочный коэффициент для зерновых злаковых культур с продолговатой формой листьев.

Метод промеров. Из пробы методом случайной выборки выбирались по 10 зеленых растений, их взвешивали и определяли площадь методом линейных измерений по длине (Д) и наибольшей ширине (Ш). Площадь измеренных листьев (S) рассчитывали по формуле:

$$S = D_{cp} \times Ш_{cp} \times 0,7 \times n \quad (3)$$

где n – число измеренных листьев.

Результаты и обсуждение.

Существует огромное количество научных работ, в которых говорится о важной роли фотосинтетического аппарата в формировании урожая. На величину урожая влияет огромное количество факторов, такие как климатические (температура, осадки и т.д.) почвенные (состав, влажность), агротехнические (сроки, способы посева, уход за посевами и т.д.) и многие другие. Изучение закономерностей роста и развития растений, находящихся в тесной взаимосвязи с процессами фотосинтеза, минерального питания и водного режима растения, – основное направление селекционно-генетических и агротехнических работ, проводимых в мировой сельскохозяйственной практике. До определенных пределов размер урожая находится в тесной связи с размерами площади листьев, длительностью и интенсивностью их работы. Однако по мере увеличения плотности посевов усиливается взаимное затенение листьев, снижается их освещенность, ухудшается вентиляция посевов, затрудняется поступление к листьям углекислого газа. В результате фотосинтетическая активность растения снижается.



Рис. 1. Посевы сортов пшеницы для изучения.
[Fig. 1. Wheat varieties planted for study.]

Из изучаемых сортов площадь листьев Шортандинская 95 улучшенная была наиболее оптимальной. Ассимиляционная поверхность листьев на увлажненном фоне с максимальным значением была в период начала колошения; 54,6; 55,2; 51,4 см². В фазу полной спелости площадь уменьшилась до 27,9; 26,8; 23,2 см², в соответствии с рисунком 2.

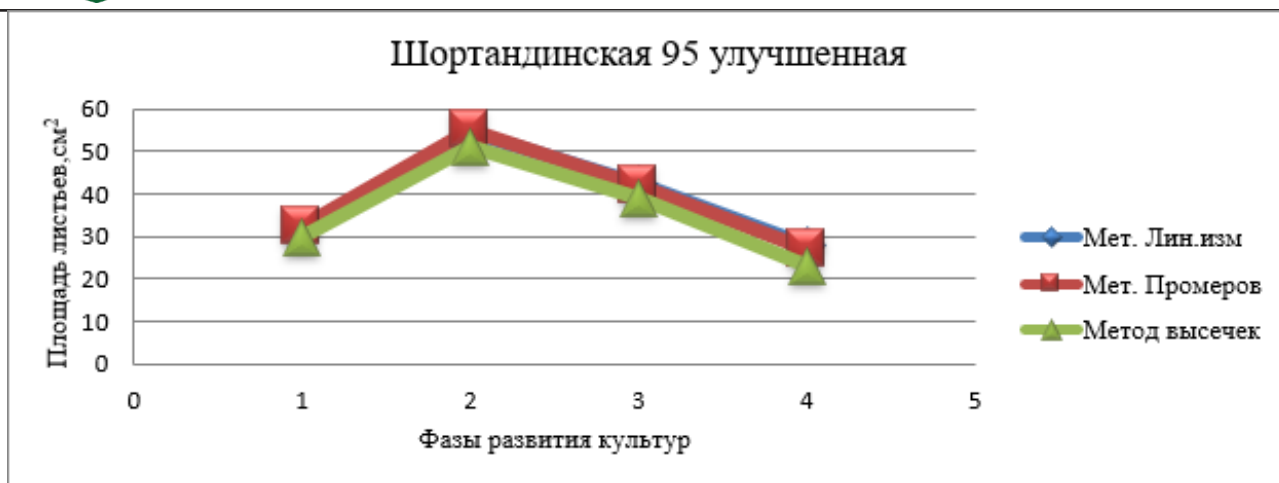


Рис. 2. Площадь листьев сорта Шортандинская 95 улучшенная, увлажненный фон
[Fig. 2. Leaf area of the Shortandinskaya 95 Improved variety, on a moist background]

Площадь листовой поверхности по стерне у этого сорта также возрастает до фазы начала выметывания (колошения), достигает здесь максимального значения-55,2; 54,9; 51,3 см². В фазу полной спелости уменьшается до 8,1; 8,6; 7,1 см² что в 3 раза меньше, чем в тот же период по стерне, в соответствии с рисунком 3.



Рис. 3. Площадь листьев сорта Шортандинская 95 улучшенная, стерня.
[Fig. 3. Leaf area of the Shortandinskaya 95 Improved variety, stubble.]

Исходя из полученных данных, можно сказать, что каждый исследуемый фон имеет свое влияние на площадь листовой поверхности.

Цифровые параметры изменения площади листьев рассматриваемых сортов представлены на рисунках 4,5.

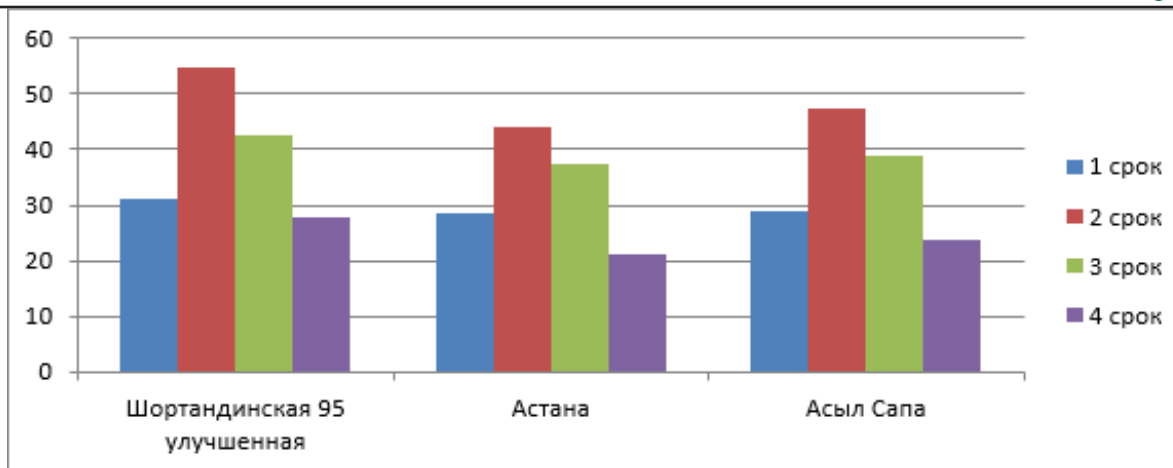


Рис. 4. Метод линейных измерений, паровой фон
[Fig. 4. Linear measurement method, steam background]

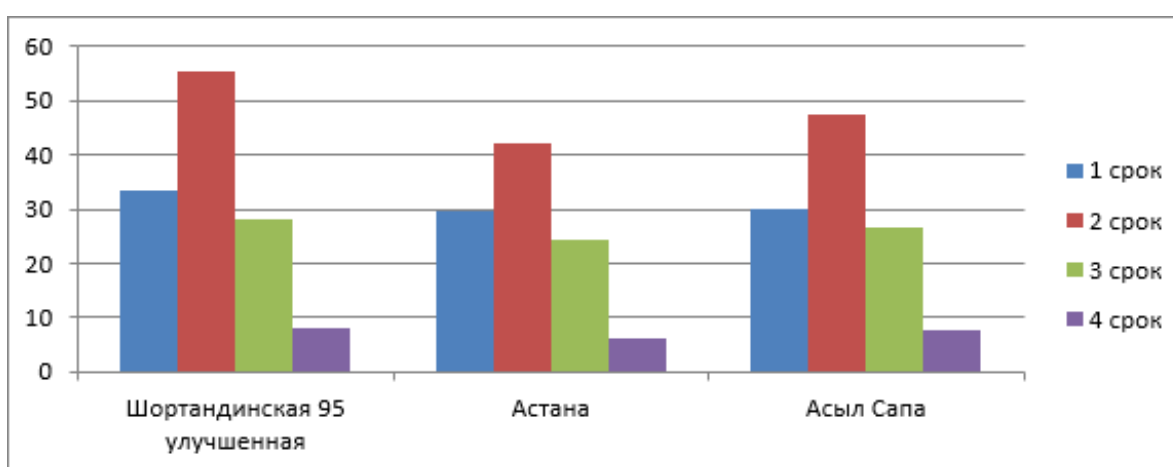


Рис. 5. Метод линейных измерений, стерневой фон.
[Fig. 5. Linear measurement method, stubble background]

У всех наблюдаемых сортов пшеницы к моменту полного созревания растений листовая поверхность листьев уменьшается. Физиологически это связано с тем, что питательные вещества из вегетативных органов переходят в репродуктивные органы, рисунок 6.



Рис. 6. Фаза молочной спелости.
[Fig. 6. Milk ripeness stage.]

Все три метода, использованные в опыте, имеют как преимущества, так и недостатки. Исходя из полученных результатов для определения ассимиляционной поверхности листьев исследуемых

образцов, подходят все три метода. Между значениями нет значительных расхождений, только метод высечек дает несколько заниженные результаты.

Увеличение или уменьшение ассимиляционной поверхности листьев может быть связано с множеством различных факторов. К ним можно отнести погодные условия данного региона, агротехнику возделывания культуры, физиологию самих растений. Для лучшего процесса фотосинтеза нужно учитывать такие агротехнические приемы, как: способы и сроки посева, оптимальную норму высева семян. Норма высева влияет на густоту стояния растений и степень их освещенности, а значит имеется прямая взаимосвязь с величиной площади листовой поверхности.



Рис. 7. Фаза восковой спелости яровой пшеницы
[Fig. 7. Wax ripeness stage of spring wheat]

Также важно своевременное уничтожение сорных растений, которые затеняют культуру, тем самым резко снижают продуктивность фотосинтеза в посевах.

Заключение.

Основным фактором, определяющим уровень продуктивности возделываемых культур в условиях резко континентального климата, является степень влагообеспеченности растений в период активного роста и формирования урожая. В регионе недостаточного увлажнения габитус растения (высота, общая биомасса) напрямую связан с его урожайностью. Даже в условиях высокой агротехники развитие листовой поверхности часто подавляется неблагоприятными погодными условиями, совпадающими с периодом активного формирования и роста листьев. Количество биомассы зачастую отражает величину биологического урожая растения. Чем сильнее развита вегетативная система, тем большей ассимилирующей поверхностью обладает такое растение и чем дольше оно вегетирует, тем больше потенциал для накопления сухого вещества. Для определения степени развития ассимиляционной поверхности в исследования включены три современных сорта яровой мягкой пшеницы: Астана, Асыл Сапа, Шортандинская 95 улучшенная. Сравнение проводилось на двух фонах выращивания – чистом плоскорезном пару и стерневом предшественнике. Обработка пара проведена плоскорезными орудиями по мере отрастания сорняков с заключительной осенней обработкой на глубину 23–27 см. На стерневом фоне зерновые культуры выращивались в течении предыдущих 4-х лет, также проведена глубокая зяблевая обработка. Учеты и наблюдения за особенностями формирования листовой поверхности осуществлялись в течении всего периода вегетации. Продолжительность периода была разделена на четыре этапа. Первый этап – фаза кущения-выход в трубку; второй этап-начало колошения; третий этап – цветение-молочная спелость; четвертый этап – полная спелость. Для точности опыта были использованы три различных метода оценки площади листовой поверхности. Метод высечек (площадь определяется по количеству высечек определенного диаметра, массе листьев и количеству растений); метод линейных измерений (учитывается длина и ширина листьев с поправочным коэффициентом); метод промеров (площадь измеренных листьев определяется по длине и наибольшей ширине по случайной выборке).

Исходя из полученных данных видно, что каждый фон возделывания имеет свое влияние на площадь ассимилирующей поверхности. В первом и втором сроке существенной разницы между показателя площади листовой поверхности не наблюдалось. По пару Шортандинская 95 улучшенная имела значения 31,2–54,6 см², по стерне 33,5–55,2 см², сорт Астана 28,6–44,2 и 29,6–42,1 см², пшени-

ца Асыл Сапа 28,9–47,5 см² и 30,2–47,4 см². В третьем и четвертом сроке на паровом фоне величина площади листьев показала значения в два раза больше, чем по стерневому фону. У пшеницы Шортандинская 95 улучшенная по плоскорезному пару показатель площади листовой поверхности 42,7–27,9 см², по стерневому предшественнику 28,3–8,1 см², сорта Астана пар 37,5–21,1 см², стерня 24,5–6,2 см² и пшеницы Асыл Сапа 38,9–23,7 см², 26,5–7,7 см². В нашем опыте оптимальное значение показывал сорт пшеницы Шортандинская 95 улучшенная.

Определяющим фактором формирования урожая полевых культур является фотосинтетическая деятельность растений, которая, прежде всего, зависит от величины листовой поверхности и от её работоспособности, то есть продуктивности фотосинтеза. Сравнительное изучение продуктивности фотосинтеза по вариантам опыта показало, что интенсивность накопления сухого вещества на единицу листовой поверхности в течение вегетации значительно изменяется.

В результате изучения особенностей формирования ассимиляционной поверхности на сортах яровой мягкой пшеницы Асыл Сапа, Астана и Шортандинская 95 Улучшенная установлено, что на стерне сорта имели следующие показатели по фазам учета кушение-выход в трубку 29,6–33,5; начало колошение–42,1–55,2; молочная спелость–24,5–28,3; созревание 6,2–8,1 см². По пару значения изменялись соответственно в пределах 28,6–31,2; 44,2–54,6; 37,5–42,7; 21,1–27,9 см².

Исходя из полученных данных фон возделывания, а точнее совокупность агротехнических приемов, таких как удобрения, обработка почвы, посев, уход, предшественники, оказывают определяющее влияние на формирование площади ассимилирующей поверхности пшеницы. Например, способ обработки почвы влияет на доступность питательных веществ и запас влаги. Также огромное значение имеет сорт (способность к кушению, генетически predetermined размер листа), условия выращивания (температура, питание, влажность). Экстремальные температуры (холод или жара) ограничивают рост листьев, а недостаток влаги снижает размер листовой поверхности.

Применение различных методов измерения площади листьев позволило рекомендовать метод линейных измерений, как наиболее приемлемый для получения объективных данных. Наибольшую поверхность площади листа сорта формировали в условиях парового фона с превышением над стерней до 16–30 процентов. Сорт яровой мягкой пшеницы Шортандинская 95 Улучшенная благодаря мощному развитию ассимиляционной поверхности формирует высокую зерновую продуктивность в сочетании с качественными показателями при различных условиях увлажнения в период вегетации.

ЛИТЕРАТУРЫ

- Al-Kaisi, M., & El-Siddig, K. (2022). Impacts of heat and drought stress on leaf area index, chlorophyll fluorescence, and growth duration of winter wheat. *Agricultural Water Management*, 262, 107-119.
- Y. Li, H. Liu, J. Ma (2025). Estimation of leaf area index for winter wheat at early stages based on convolutional neural networks // *Computers and Electronics in Agriculture*. 211. – Art. 108008. – DOI: 10.1016/j.compag.2025.108008.
- Шестакова, Е. О. (2021) Оптимизация параметров ассимиляционной поверхности и структуры посевов яровой пшеницы при различных уровнях минерального питания: дис. ... канд. биол. наук / Е. О. Шестакова. — Краснодар, — 168 с.
- Ганизода В. А., Эшонова З. Ш., Якубова М. М. (2021). Показатели площади листа у сортов и линий пшеницы в зависимости от условий выращивания. // *Известия национальной академии наук Таджикистана. Отделение биологических наук*, 1(212), 62-67.
- Курбанов, С. А., Магомедова Д. С., Емец С. И. (2024). Эффективность применения биопрепаратов на озимой мягкой пшенице в орошаемой зоне Дагестана // *Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: материалы междунар. науч.-практ. конф.* Нальчик: КБАУ, 59–64.
- Лиховидова, В. А. (2024). Формирование площади листьев и фотосинтетического потенциала яровой пшеницы сорта Радмира при использовании некорневых подкормок // *Сборник материалов научно-практической конференции (25 октября 2024 г.)*.— Москва: Минсельхоз РФ, 112–118.
- Косенко, С. В. (2023). Связь листовой поверхности различных по скороспелости сортов озимой пшеницы с продуктивностью в условиях лесостепи // *КиберЛенинка: науч. электрон. б-ка*. DOI: 10.55186/258767402023662168
- Николаев, С. В. (2021) Фотосинтетическая деятельность и чистая продуктивность фотосинтеза яровой пшеницы при комплексном применении микроудобрений и регуляторов роста // *Аграрный вестник*. — № 11. — С. 41–48.
- Мусаев, Ф. А., Захаров, В. А. (2025) Формирование площади листовой поверхности и фотосинтетического потенциала посевов озимой пшеницы в зависимости от систем удобрения в условиях дефицита влаги // *Вестник Донского государственного аграрного университета*. — № 4 (58). — С. 12–18.
- Василько В.П., Ничипуренко Е. Н., Федорова Т. Д. (2025). Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на ассимиляционную площадь листьев в условиях Западного Предкавказья. / *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. № 117. С. 109-113.-DOI: 10.21515/1999-1703-117-109-113
- Ахметов, Т.К. (2026) Оценка фотосинтетического потенциала и площади листьев перспективных линий яровой пшеницы в условиях полупустынной зоны // *Наука, исследования, инновации: сб. материалов междунар. конф.* — Уральск: ЗКАТУ им. Жангир хана, — С. 112–117.
- Логинов Ю.П. Гладкова И. Н. (2023). Динамика формирования площади листьев у сортов яровой пшеницы в северной лесостепи Тюменской области. / *Материалы научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса»*, Тюмень. С. 33-38.

Плескачев Ю.Н., Тютюма Н. В., Петров Н. Ю., Зверева Г.Н. (2024). Фотосинтетическая деятельность твердой пшеницы в южном регионе России. / *Аграрная Россия*. № 8. – С. 14-16. DOI: 10.30906/1999-5636-2024-8-14-16

Рахимов М.М., Ниязмухамедова М.Б., Солиев А. Ш., Ходжаева Н. Х. (2022). Динамика образования площади листьев некоторых злаковых в условиях богары. / *Вестник педагогического университета. Серия естественных наук*. № 2(14) С. 196-201.

Wang, L., Li, H., & Chen, Y. (2026). Modeling of wheat yield using plant structural biomarkers: Integration of leaf area index and canopy height. *Scientific Reports*, 16(1), 1234-1245.

REFERENCES

Al-Kaisi, M., & El-Siddig, K. (2022). Impacts of heat and drought stress on leaf area index, chlorophyll fluorescence, and growth duration of winter wheat. *Agricultural Water Management*, 262, 107–119. [in Eng.]

Y. Li, H. Liu, J. Ma (2025). Estimation of leaf area index for winter wheat at early stages based on convolutional neural networks // *Computers and Electronics in Agriculture*. 211. Art. 108008. DOI: 10.1016/j.compag.2025.108008. [in Eng.]

Shestakova, E.O. (2021) Optimizatsiya parametrov assimilyatsionnoy poverhnosti i struktury posevov yarovoy pshenicy pri razlichnykh urovnyakh mineral'nogo pitaniya: dis. ... kand. biol. nauk / E.O. Shestakova. — Krasnodar, — 168 p. [in Russ.]

Ganizoda V.A., Eshonova Z.Sh., Yakubova M.M. (2021). Pokazateli ploshchadi lista u sortov i liniy pshenicy v zavisimosti ot usloviy vyrashchivaniya. // *Izvestiya nacional'noy akademii nauk Tadzhikistana. Otdelenie biologicheskikh nauk*, 1(212), 62–67. [in Russ.]

Kurbanov, S.A., Magomedova D.S., Emec S.I. (2024). Effektivnost' primeneniya biopreparatov na ozimoy myagkoj pshenice v oroshayemoy zone Dagestana // *Sel'skohozyajstvennoe zemlepol'zovanie i prodovol'stvennaya bezopasnost': materialy mezhdunar. nauch. prakt. konf. Nal'chik: KBGAU*, 59–64. [in Russ.]

Lihovidova, V.A. (2024), Formirovanie ploshchadi list'ev i fotosinteticheskogo potentsiala yarovoy pshenicy sorta Radmira pri ispol'zovanii nekornevnykh podkormok // *Sbornik materialov nauchno-prakticheskoy konferencii (25 oktyabrya 2024 g.)*. — M.: Minsel'hoz RF, 112–118. [in Russ.]

Kosenko, S.V. (2023). Svyaz' listovoy poverhnosti razlichnykh po skorospelosti sortov ozimoy pshenicy s produktivnost'yu v usloviyakh lesostepi // *KiberLeninka: nauch. elektron. b-ka*. DOI: 10.55186/258767402023662168. [in Russ.]

Nikolaev, S.V. (2021) Fotosinteticheskaya deyatel'nost' i chistaya produktivnost' fotosinteza yarovoy pshenicy pri kompleksnom primenении mikroudobrenij i regul'yatorov rosta // *Agrarnyj vestnik*. — № 11. — Pp. 41–48. [in Russ.]

Musaev, F.A., Zaharov, V.A. (2025) Formirovanie ploshchadi listovoy poverhnosti i fotosinteticheskogo potentsiala posevov ozimoy pshenicy v zavisimosti ot sistem udobreniya v usloviyakh deficita vlagi // *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. — № 4 (58). — Pp. 12–18. [in Russ.]

Vasil'ko V.P., Nichipurenko E.N., Fedorova T.D. (2025). Vliyanie tekhnologii vzdelyvaniya ozimoy pshenicy na assimilyatsionnyuyu ploshchad' list'ev v usloviyakh Zapadnogo Predkavkaz'ya. / *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. № 117. Pp. 109–113.-DOI: 10.21515/1999-1703-117-109-113. [in Russ.]

Ahmetov, T.K. (2026) Ocenka fotosinteticheskogo potentsiala i ploshchadi list'ev perspektivnykh liniy yarovoy pshenicy v usloviyakh polupustynnoj zony // *Nauka, issledovaniya, innovatsii: sb. materialov mezhdunar. konf.* — Ural'sk: ZKATU im. Zhangir hana, — Pp. 112–117. [in Russ.]

Pleskachev Yu.N., Tyutyuma N. V., Petrov N. Yu., Zvereva G.N. (2024). Fotosinteticheskaya deyatel'nost' tverdoj pshenicy v yuzhnom regione Rossii. / *Agrarnaya Rossiya*. № 8. Pp. 14–16. DOI: 10.30906/1999-5636-2024-8-14-16. [in Russ.]

Rahimov M.M., Niyazmuhamedova M.B., Soliev A.Sh., Hodzhaeva N.H. (2022). Dinamika obrazovaniya ploshchadi list'ev nekotorykh zla-kovykh v usloviyakh bogary. / *Vestnik pedagogicheskogo universiteta. Seriya estestvennykh nauk*. № 2(14). Pp. 196–201. [in Russ.]

Wang, L., Li, H., & Chen, Y. (2026). Modeling of wheat yield using plant structural biomarkers: Integration of leaf area index and canopy height. *Scientific Reports*, 16(1), 1234–1245. [in Eng.]

Вклад авторов

Коберницкий В.И.: концептуализация, методология, руководство исследованием, анализ и обработка экспериментальных данных, интерпретация результатов, подготовка публикационных форм, создание черновика рукописи.

Жирнова И. А.: проведение полевых и лабораторных исследований, анализ и обработка экспериментальных данных



M.T. Sembekov *, M.A. Kaigermazova, E.A. Shadenova
RSE «Institute of Genetics and Physiology», Almaty, Kazakhstan.
E-mail: m.sembekov@mail.ru

A BIOTECHNOLOGICAL APPROACH TO CREATING FEED ADDITIVES BASED ON MICRO-CLONAL BIOMASS FROM PAULOWNIA TOMENTOSA

Sembekov Medet Tleukenovich, Researcher, Institute of Genetics and Physiology, Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Ave., 93

E-mail: m.sembekov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4634-1532>;

Kaigermazova Mariam Akhmatovna, Researcher, Institute of Genetics and Physiology, Republic of Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Ave., 93

E-mail: sozvezdie-94@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4517-2717>;

Shadenova Elvira Abylgazievna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Genetics and Reproduction of Forest Crops, Institute of Genetics and Physiology, Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Ave., 93

E-mail: shadel08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7844-4264>.

Abstract. Introduction. The development of plant-based feed additives is a relevant area of modern biotechnology aimed at improving the sustainability and efficiency of animal husbandry. Fast-growing plants with high biomass accumulation potential, such as *Paulownia tomentosa*, are of particular interest. Objective. The study aimed to obtain microclonal biomass of *P. tomentosa* under in vitro conditions and to evaluate its potential feed value based on biochemical and functional indicators. Methods. Microclonal propagation was carried out using standard protocols. The biomass was analyzed for crude protein, fiber, amino acid composition, and microelement content. Antioxidant activity was determined using DPPH and ABTS assays. The potential feed value was assessed using model feed rations and calculated indicators of digestibility and metabolizable energy. Results. It was established that the microclonal biomass contained 18.6 % crude protein, was characterized by a balanced amino acid profile, and exhibited antioxidant activity (IC_{50} DPPH = 0.84 mg/mL). Standardized cultivation conditions ensured reproducibility of the parameters. Model-based evaluation showed that inclusion of 1–5 % biomass in the diet may contribute to an increase in metabolizable energy and dry matter digestibility. Conclusions. Microclonal biomass of *P. tomentosa* can be considered a promising source of plant raw material for feed additives. The obtained results are of a predictive nature and require further experimental validation under in vitro and in vivo conditions.

Keywords: *Paulownia tomentosa*, microclonal biomass, in vitro culture, biotechnology, feed additives, feed potential, antioxidant activity, biochemical composition, sustainable animal husbandry

For citation: Sembekov M.T., Kaigermazova M.A., Shadenova E.A. (2026). A biotechnological approach to creating feed additives based on microclonal biomass from *Paulownia tomentosa* // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 94–105. <https://doi.org/10.37884/3-2026/08> [in Eng.].

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

Financing: This study was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (BR 24993004 «Development of innovative methods for increasing the productivity of farm animals using physiological and genetic approaches»).

Acknowledgements: In the process of preparing this work, the authors used the following tools: ChatGPT (for structuring the article, creating a monochrome scheme, and translating the names of the

discovered biologically active substances) and bear full responsibility for the content of the article.

М.Т. Сембеков*, М.А. Кайгермазова, Е.А. Шаденова

РМҚК «Генетика және физиология институты» ҚР ҒК ҒЖБМ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: m.sembekov@mail.ru

PAULOWNIA TOMENTOSA ӨСІМДІГІНЕН АЛЫНҒАН МИКРОКЛОНДЫҚ БИОМАССАҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ЖЕМ ҚОСПАЛАРЫН ЖАСАУҒА БИОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТӘСІЛ

Сембеков Медет Тлеукенұлы, Генетика және физиология институтының ғылыми қызметкері, Қазақстан, Алматы, әл-Фараби даңғылы, 93

E-mail: m.sembekov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4634-1532>;

Кайгермазова Мариям Ахматқызы, Генетика және физиология институтының ғылыми қызметкері, Қазақстан, Алматы, әл-Фараби даңғылы, 93

E-mail: sozvezdie-94@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4517-2717>;

Шаденова Ельвира Абылғазықызы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Генетика және физиология институтының Орман дақылдарының генетикасы және көбеюі зертханасының меңгерушісі, Қазақстан, Алматы, әл-Фараби даңғылы, 93 үй

E-mail: shadel08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7844-4264>.

Аннотация. *Kipicne.* Өсімдік негізіндегі жем қоспаларын әзірлеу - мал шаруашылығының тұрақтылығы мен тиімділігін арттыруға бағытталған заманауи биотехнологияның өзекті саласы. *Paulownia tomentosa* сияқты биомасса жинақтау әлеуеті жоғары тез өсетін өсімдіктер ерекше қызығушылық тудырады. Зерттеудің мақсаты *P. tomentosa*-ның in vitro микроклоналды биомассасын алу және оның биохимиялық және функционалдық параметрлерге негізделген әлеуетті жемдік құндылығын бағалау болды. *Әдістер.* Микрокөбейту стандартты хаттамаларға сәйкес жүргізілді. Биомасса шикі ақуыз, талшық, аминқышқылдық құрамы және микроэлементтер бойынша талданды. Антиоксидантты белсенділік DPPH және ABTS талдауларын қолдану арқылы анықталды. Әлеуетті жемдік құндылық модельдік диеталарды қолдану және сіңімділік пен метаболизденетін энергия мәндерін есептеу арқылы бағаланды. *Нәтижелер.* Микроклоналды биомассаның құрамында 18,6 % шикі ақуыз бар екені, теңгерімді аминқышқылдық профильге ие екені және антиоксиданттық белсенділік көрсететіні анықталды (DPPH IC₅₀ = 0,84 мг/мл). Стандартталған өсіру жағдайлары қайталанатын нәтижелерді қамтамасыз етті. Бағалаулар биомассаның 1–5 %-ын диетаға қосу метаболизденетін энергияны және құрғақ заттардың сіңімділігін арттыратынын көрсетті. *Қорытынды.* *P. tomentosa* микроклоналды биомассасы жем қоспалары үшін өсімдік материалының перспективалы көзі болып табылады. Алынған нәтижелер алдын ала болып табылады және in vitro және in vivo тәжірибелік тексеруді қажет етеді.

Түйін сөздер: *Paulownia tomentosa*; микроклоналды биомасса; in vitro өсіру; биотехнология; жем қоспалары; жем әлеуеті; антиоксиданттық белсенділік; биохимиялық құрамы; тұрақты мал шаруашылығы

Дәйексөз үшін: Сембеков М.Т., Кайгермазова М.А., Шаденова Е.А. (2026). *Paulownia tomentosa* өсімдігінен алынған микроклондық биомассаға негізделген жем қоспаларын жасауға биотехнологиялық тәсіл // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 94–105. <https://doi.org/10.37884/3-2026/08> [In Eng.]

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

М.Т.Сембеков*, М.А. Кайгермазова, Е.А. Шаденова

РГП «Институт генетики и физиологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан.

E-mail: m.sembekov@mail.ru

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ КОРМОВЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ МИКРОКЛОНАЛЬНОЙ БИОМАССЫ PAULOWNIA TOMENTOSA

Сембеков Медет Тлеукенович, научный сотрудник, институт генетики и физиологии. Казахстан,

Алматы, пр. аль-Фараби, 93

E-mail: m.sembekov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4634-1532>;

Кайгермазова Мариям Ахматовна, научный сотрудник, институт генетики и физиологии. Казахстан, Алматы, пр. аль-Фараби, 93

E-mail: sozvezdie-94@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4517-2717>;

Шаденова Эльвира Абылгазиевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лаборатории генетики и репродукции лесных культур, институт генетики и физиологии. Казахстан, Алматы, пр. аль-Фараби, 93

E-mail: shadel08@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7844-4264>.

Аннотация. *Введение.* Разработка кормовых добавок на растительной основе является актуальным направлением современной биотехнологии, направленным на повышение устойчивости и эффективности животноводства. Особый интерес представляют быстрорастущие растения с высоким потенциалом накопления биомассы, такие как *Paulownia tomentosa*. Цель исследования – получение микрклональной биомассы *P. tomentosa* в условиях *in vitro* и оценка ее потенциальной кормовой ценности на основе биохимических и функциональных показателей. *Методы.* Микрклональное размножение проводилось по стандартным протоколам. Биомасса анализировалась на содержание сырого белка, клетчатки, аминокислотного состава и микроэлементов. Антиоксидантную активность определяли методами DPPH и ABTS. Потенциальную кормовую ценность оценивали с использованием модельных рационов и расчетных показателей переваримости и обменной энергии. *Результаты.* Установлено, что микрклональная биомасса содержит 18,6 % сырого белка, характеризуется сбалансированным аминокислотным профилем и проявляет антиоксидантную активность (IC₅₀ DPPH – 0,84 мг/мл). Стандартизированные условия культивирования обеспечили воспроизводимость показателей. Расчетная оценка показала, что включение 1–5 % биомассы в рацион способствует повышению обменной энергии и переваримости сухого вещества. *Выводы.* Микрклональная биомасса *P. tomentosa* является перспективным источником растительного сырья для кормовых добавок. Полученные результаты носят расчетный характер и требуют дальнейшей экспериментальной проверки в условиях *in vitro* и *in vivo*.

Ключевые слова: *Paulownia tomentosa*, микрклональная биомасса, культура *in vitro*, биотехнология, кормовые добавки, кормовой потенциал, антиоксидантная активность, биохимический состав, устойчивое животноводство

Для цитирования: Сембеков М. Т., Кайгермазова М. А., Шаденова Е. А. (2026). Биотехнологический подход к созданию кормовых добавок на основе микрклональной биомассы *Paulownia tomentosa* // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 94–105. <https://doi.org/10.37884/3-2026/08> [In Eng.]

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

Modern animal husbandry is actively searching for highly efficient, environmentally friendly, and economically viable feed resources that can ensure stable product quality and reduce dependence on traditional types of plant raw materials. Increasing climatic stresses, declining soil fertility, the spread of crop diseases, and rising feed production costs are driving the need to introduce alternative sources of plant biomass. In this regard, the use of fast-growing woody plants with significant potential for producing highly nutritious feed additives is of particular interest.

In recent years, the concept of sustainable livestock production has been increasingly associated with the transition toward circular bioeconomy models, where renewable biological resources are efficiently utilized to minimize waste and environmental impact. In this context, the integration of alternative plant biomass into feed systems represents not only a nutritional strategy but also an ecological solution aimed at reducing pressure on arable land and conventional feed crops.

Traditional protein sources such as soybean meal are associated with significant environmental costs, including deforestation, high water consumption, and greenhouse gas emissions. Therefore, the search for locally available, rapidly renewable, and compositionally stable plant biomass is becoming a strategic priority for many countries, including Kazakhstan, where climatic variability further complicates agricultural sustainability.

Fast-growing tree species such as *Paulownia tomentosa* offer a unique opportunity to combine high biomass productivity with adaptability to marginal conditions. Moreover, their potential use in controlled biotechnological systems allows decoupling biomass production from seasonal and environmental constraints. This creates a new paradigm in feed biotechnology, where plant material can be produced under fully controlled conditions with predictable composition and functionality.

A comparative analysis of the productivity of traditional and non-traditional fodder crops was conducted in Kazakhstan, highlighting the need to expand the fodder base by introducing alternative plant species [Kobernitsky et al., 2023]. An assessment of land use efficiency and suitability shows the need to introduce new fodder crops to increase the sustainability of agricultural systems [Zhumataeva et al., 2024]. In addition, the use of controlled microclonal biomass provides a standardized plant material with reduced biochemical variability compared with field-grown plants. Studies show that alternative feed components can reduce the cost of feed, boost animal immunity, and ensure stable production in the face of climate change [Halmemies et al., 2018; Abdelli et al., 2021; Alem, 2024; Moyo et al., 2011; Wang et al., 2022].

One promising species is *Paulownia tomentosa*, known for its unique biological properties: high growth rate, resistance to abiotic stresses, and ability to produce up to 30–40 t/ha of biomass in the first years of cultivation [Kan et al., 2016; Ruiz-Aquino et al., 2019; Balasundram et al., 2025]. The chemical composition of paulownia is characterised by a high content of crude protein (18–22%), easily digestible carbohydrates, essential amino acids, and a significant level of antioxidant compounds, including phenols, flavonoids, and terpene derivatives [Uğuz et al., 2019; Vergun et al., 2022; Dai et al., Džugan et al., 2021; Balasundram et al., 2006; Haihao et.al., 2021]. These characteristics make it a potentially valuable raw material for the creation of functional feed additives.

Recent studies show that the leaves and young shoots of *P. tomentosa* can be used to improve metabolism, immune status, and live weight gain in animals, especially when included in compound feed [Hülya et al., 2021; El-Zaiat et al., 2022; Untea et al., 2023; Petcu et al., 2023]. There is also an improvement in digestibility and a reduction in stress reactions in animals when leaf mass is included in the diet [Abdelli et al., 2021; Moyo et al., 2011]. However, most studies focus on plants grown in open ground, which limits the standardisation of the composition and biological activity of the raw materials [Negruşier et al., 2025; Haihao et.al., 2021].

Biotechnological approaches, in particular microclonal propagation, enable the production of genetically uniform material and control of the biochemical parameters of biomass. Numerous studies confirm the effectiveness of tissue culture methods for obtaining *Paulownia tomentosa* with high reproduction rates and stable morphophysiological characteristics [Hamza, 2019; Thiesen et.al., 2025; Litwińczuk et.al., 2023; Burger et.al., 1985; Rao et.al., 1996]. In vitro cultures have a number of advantages: year-round production, absence of phytopathogens, control over the composition of the nutrient medium and cultivation conditions, high reproducibility and stability of the data obtained [Ipekci et.al., 2001; Mohaddab et.al., 2022; Shah et.al., 2023; Li et.al., 2023]. The addition of antioxidants to the nutrient medium proved critical for suppressing the undesirable phenolic exudation effect and ensuring optimal growth of plant microclones in vitro, which is important for standardising the biomass of feed raw materials [Rakhatkyzy, 2025]. The application of such technologies in feed production paves the way for the creation of biomass with predictable and specified properties [Pitino, 2021].

Despite the increasing research on *P. tomentosa*, a comprehensive evaluation of microclonal biomass for its potential as a feed ingredient remains limited. Key aspects, including antioxidant activity, stability of biochemical composition under controlled conditions, and predicted effects in model feed formulations, have not been fully studied [Mohaddab et.al., 2022; Li et.al., 2023; Pitino, 2021].

This study aimed to develop a biotechnological approach for obtaining microclonal biomass of *P. tomentosa* and to evaluate its potential feed value based on biochemical and functional characteristics. The novelty of this work lies in the integrated assessment of microclonal biomass composition, antioxidant properties, and predicted nutritional indicators, providing a foundation for considering *P. tomentosa* as a potential source of standardized plant-based feed additives.

Materials and methods.

The initial plant material consisted of vegetative cuttings of *Paulownia tomentosa* obtained from healthy donor plants. Surface sterilization was carried out according to standard tissue culture protocols: explants were washed in a detergent solution, immersed in 70 % ethanol for 30 s, followed by treatment with

0.1 % sodium hypochlorite for 10–12 min, and rinsed three times with sterile distilled water.

Microclonal cultures were established on Murashige and Skoog (MS) nutrient medium supplemented with 6-benzylaminopurine (6-BAP) at concentrations of 0.5–1.0 mg/L to stimulate shoot multiplication. Cultures were maintained in a growth chamber at 24–26 °C under a 16/8 h light/dark photoperiod and light intensity of 40–50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Subcultivation was performed every 28–30 days. Rooted microshoots with high multiplication rates were used for biomass production.

Biomass was harvested on the 30th day of cultivation. Plant material was washed with distilled water, dried on sterile filter paper, frozen at –20 °C, and subsequently lyophilized. The dried biomass was ground into a fine powder for further chemical analyses.

Proximate composition analysis included determination of crude protein by the Kjeldahl method using a nitrogen conversion factor of 6.25. Crude fiber was determined by sequential acid–alkaline hydrolysis, lipids were extracted using a Soxhlet apparatus with petroleum ether as solvent, and nitrogen-free extract (carbohydrates) was calculated by difference.

Amino acid composition was determined using high-performance liquid chromatography (HPLC) following acid hydrolysis (6N HCl, 110 °C, 24 h). Chromatographic separation was performed on a reversed-phase C18 column (4.6 × 250 mm, 5 μm particle size). The mobile phase consisted of acetonitrile and sodium acetate buffer (pH 6.5) applied in gradient mode. Detection was performed using UV detection at 254 nm, and quantification was carried out using external amino acid standards.

Secondary metabolites and phenolic compounds were additionally characterized using ultra-high-performance liquid chromatography coupled with quadrupole time-of-flight mass spectrometry (UHPLC–QTOF). Analyses were performed on a UHPLC Elute+ system (Bruker, Germany) coupled to a Q-TOF Impact II VIP mass spectrometer. Chromatographic separation was achieved on a reversed-phase C18 column using a gradient elution of water and acetonitrile containing 0.1 % formic acid. Mass spectra were recorded in electrospray ionization (ESI) mode within the m/z range of 50–1200. Identification of compounds was performed by comparison with spectral databases and literature data.

In addition, selected metabolites were analyzed using gas chromatography coupled with mass spectrometric detection (GC–MS) on an Agilent 7890A gas chromatograph equipped with a 5975C mass selective detector. Separation was carried out on a capillary column with helium as carrier gas. Mass spectra were recorded in electron ionization mode at 70 eV, and compound identification was performed by comparison with spectral libraries.

Macro- and microelement content was determined by atomic absorption spectrometry (AAS) using a flame atomization system (air–acetylene flame). Calibration was performed using certified standard solutions, and quality control included blank and reference samples.

Antioxidant activity was evaluated using DPPH and ABTS radical scavenging assays. For the DPPH assay, methanolic extracts were reacted with 0.1 mM DPPH solution, and absorbance was measured at 517 nm after 30 min of incubation. For the ABTS assay, the ABTS^{•+} radical cation was generated by oxidation with potassium persulfate, and absorbance was measured at 734 nm. Trolox was used as a reference antioxidant standard. IC₅₀ values were calculated from dose–response curves.

To evaluate potential feed application, lyophilized biomass was incorporated into model feed mixtures at levels of 1 %, 3 %, and 5 % (w/w).

The basal diet used for model calculations was formulated to represent a typical cattle ration and consisted (on a dry matter basis) of: corn silage (40 %), alfalfa hay (25 %), barley grain (20 %), soybean meal (10%), and mineral-vitamin premix (5 %). The inclusion of *P. tomentosa* biomass was modeled by proportional substitution of the concentrate fraction (barley and soybean meal) while maintaining the overall protein and energy structure of the diet.

Predictive digestibility and enzymatic interaction indices were calculated using a static laboratory digestion model according to the method of Tilley and Terry [Tilley, 1963]. These indicators represent calculated estimates based on compositional data rather than direct biological measurements.

All analyses were conducted in triplicate. Statistical analysis was performed using GraphPad Prism 9.0. One-way ANOVA followed by Tukey's post-hoc test was applied to calculated datasets to illustrate potential differences among model scenarios. Reported p-values are descriptive and do not represent experimental validation in animals.

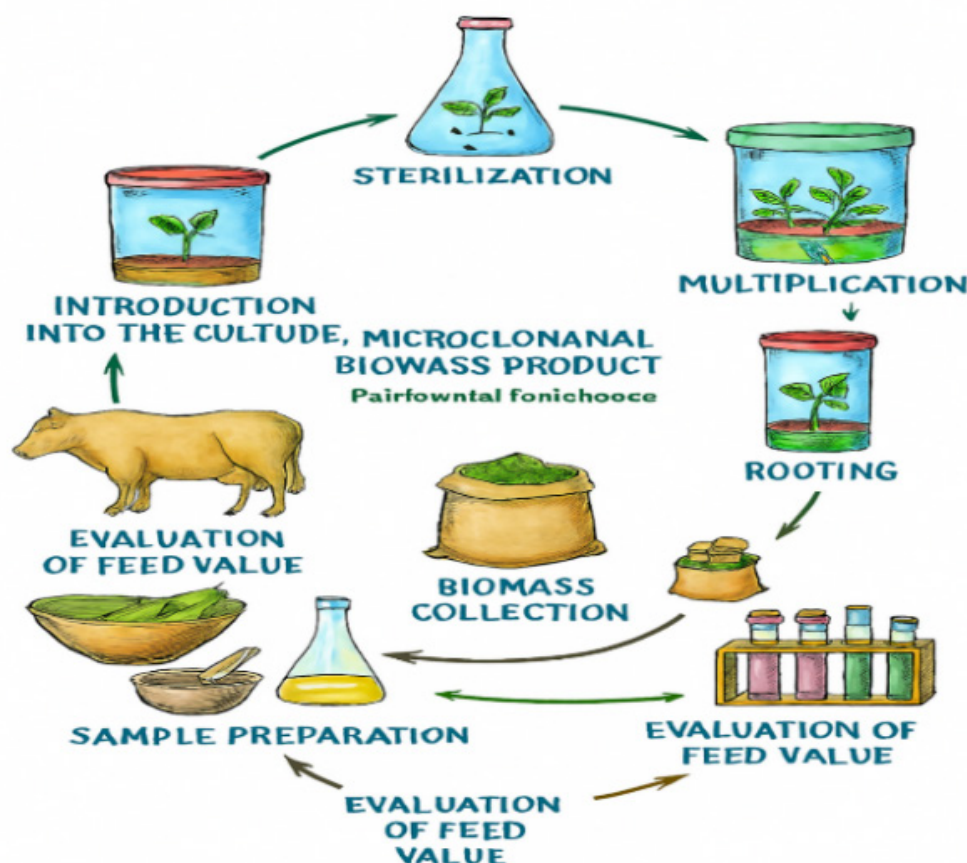


Fig. 1. Monochrome diagram of the stages of obtaining microclonal biomass of *Paulownia tomentosa*: sterilisation — introduction into culture — multiplication — rooting — biomass collection — sample preparation — biochemical and antioxidant analysis — assessment of feed value

The workflow of obtaining microclonal biomass of *Paulownia tomentosa* is presented in Figure 1 and includes the following stages: sterilisation, introduction into culture, multiplication, rooting, biomass collection, sample preparation, biochemical and antioxidant analysis, and assessment of feed value.

All laboratory analyses were conducted in accredited university laboratories following internationally accepted analytical standards.

To ensure reproducibility and reliability of the obtained data, all analytical procedures were performed under strict quality control conditions. Calibration curves for chromatographic analyses demonstrated high linearity ($R^2 > 0.995$), and repeatability was confirmed by low relative standard deviation values ($<5\%$) across replicates.

Additionally, blank samples and certified reference materials were included in each analytical batch to verify the accuracy of measurements. Instrumental stability was monitored throughout the experiments to minimize analytical drift. Such methodological rigor is essential when evaluating plant biomass intended for feed applications, as even minor deviations in composition may significantly affect nutritional interpretation.

Results.

The average morphometric parameters of microclones on the 30th day of cultivation are shown in Table 1.

Table 1 – Growth indicators for *Paulownia tomentosa* microclones (n = 30)

Indicator	Mean $\pm$ SD	Coefficient of variation, %
Shoot length, cm	4.8 $\pm$ 0.3	6.3
Number of shoots per explant, pcs.	5.2 $\pm$ 0.4	7.7
Raw biomass mass per vessel, g	1.42 $\pm$ 0.09	6.3
Dry biomass mass per vessel, g	0.21 $\pm$ 0.02	9.5
Percentage of rooting, %	93.4 $\pm$ 2.1	2.2

Growth parameters of microclones. The morphometric characteristics of *Paulownia tomentosa* microclones on the 30th day of cultivation are presented in Table 1.

The mean shoot length at day 30 was 4.8 ± 0.3 cm. Considering that the initial length of microshoots at the time of culture establishment was 0.8 cm, the absolute increase in shoot length over the 30-day cultivation period was:

$$\Delta L_{30} = 4.8 - 0.8 = 4.0 \text{ cm} \quad (1)$$

Accordingly, the average daily shoot elongation rate was: $4.0 \text{ cm} / 30 \text{ days} = 0.133 \text{ cm/day}$.

Thus, shoot growth during the experimental period was steady and biologically consistent for in vitro culture conditions.

The multiplication coefficient (MC), calculated as the ratio of the total number of newly formed shoots to the number of initial explants, averaged 5.2 ± 0.4 .

Raw biomass mass per vessel was 1.42 ± 0.09 g, while dry biomass mass was 0.21 ± 0.02 g. Based on these values, the proportion of dry matter (DM) in biomass was:

$$\text{DM (\%)} = (0.21 / 1.42) \times 100 \approx 14.8\% \quad (2)$$

The rooting percentage was high ($93.4 \pm 2.1\%$), indicating strong regenerative capacity under the applied culture conditions.

All growth calculations were performed strictly within the 30-day experimental period without extrapolation beyond the observed timeframe.

Chemical composition of microclonal biomass. The proximate chemical composition of lyophilized *P. tomentosa* biomass (calculated as % of dry matter) is presented in Table 2.

Table 2 – Chemical composition of *Paulownia tomentosa* microclonal biomass (% of dry weight, n = 5)

Component	Mean $\pm$ SD, % of dry matter
Raw protein	18.6 ± 0.5
Raw fat	3.1 ± 0.2
Raw fibre	15.4 ± 0.6
Ash	6.8 ± 0.3
Nitrogen-free extract	56.1 ± 1.2

The observed balance between protein, fiber, and nitrogen-free extractives suggests that the biomass may serve as a multifunctional feed component, combining both structural and readily available energy fractions. The relatively high proportion of nitrogen-free extractives (56.1%) indicates a significant contribution of soluble carbohydrates, which are essential for microbial fermentation processes in ruminants.

At the same time, the fiber content (15.4 %) remains within the optimal range for maintaining rumen function without excessively limiting digestibility. This balance is particularly important when considering the inclusion of non-traditional plant biomass into compound feeds, as both insufficient and excessive fiber levels may negatively affect feed efficiency.

Furthermore, the consistency of chemical composition across replicates highlights the advantage of in vitro cultivation systems over conventional agricultural production, where nutrient composition is often influenced by environmental variability. Such stability is a key requirement for the development of standardized feed additives.

Energy value and protein-to-energy ratio. The metabolizable energy (ME) content of the lyophilized biomass of *Paulownia tomentosa* was calculated using the standard zootechnical equation:

$$\text{ME (MJ/kg DM)} = 0.155 \times \text{protein} + 0.343 \times \text{fat} + 0.130 \times \text{NFE}, \quad (3)$$

where nutrients are expressed as % of dry matter.

Substitution yielded: ME = 11.24 MJ/kg DM.

Since crude protein content was 18.6% of dry matter, this corresponds to: 186 g protein per kg DM:

$$\text{Protein/Energy ratio} = \frac{\text{g protein per kg DM}}{\text{MJ per kg DM}} \quad (4)$$

Substituting the obtained values (186 g protein per kg DM and 11.24 MJ/kg DM), the protein-to-energy ratio was calculated as 16.55 g/MJ, rounded to 16.5 g/MJ. The protein-to-energy ratio was therefore calculated as: $186 / 11.24 = 16.5$ g protein per MJ of metabolizable energy.

The antioxidant activity of microclonal biomass was evaluated using the DPPH and ABTS methods at concentrations ranging from 0.1 to 2.0 mg/ml. The DPPH radical inhibition percentage at an extract concentration of 1.0 mg/ml was $68.3 \pm 2.7\%$, and for ABTS — $71.5 \pm 2.4\%$. IC₅₀ values were calculated by fitting the dose-response curve: DPPH: IC₅₀ = 0.84 ± 0.07 mg/ml, ABTS: IC₅₀ = 0.91 ± 0.05 mg/ml.

The total content of phenolic compounds was 22.4 ± 1.3 mg GAE/g DW, and flavonoids — 9.8 ± 0.6 mg rutin/g DW.

The calculation of the Pearson correlation coefficient between the content of phenolic compounds and the IC₅₀ (DPPH) values in a series of samples (n = 10) showed: $r = -0.87$, indicating an inverse relationship (higher phenol content is associated with lower IC₅₀ values).

The mineral content (MJ/kg DM) is presented in Table 3.

Table 3 – Macro- and microelement content in biomass (MJ/kg DM, n = 5)

Element	Mean $\pm$ SD, MJ/kg DM
Ca	$1\,210 \pm 45$
Mg	310 ± 12
Fe	94 ± 6
Zn	28 ± 2
Mn	19 ± 1
Cu	6.2 ± 0.4

Predictive nutritional evaluation in model feed formulations. A calculation-based assessment of the potential feed application of lyophilized biomass of *Paulownia tomentosa* was performed using model feed formulations designed for cattle nutrition.

The biomass was incorporated into the basal ration at levels of 0 % (control), 1 %, 3 %, and 5 % of dry matter. The incorporation was modeled by proportional substitution of the concentrate component while maintaining the comparable macronutrient structure of the diet.

The indicators presented in Table 4 represent calculated nutritional indices derived from: proximate chemical composition of the biomass; estimated metabolizable energy (MJ/kg DM); predicted dry matter digestibility index based on nutrient substitution; relative enzymatic interaction indices inferred from compositional shifts in protein and carbohydrate fractions.

The calculated metabolizable energy of the control formulation was 10.8 MJ/kg DM. Model inclusion of biomass resulted in estimated ME values of 11.0, 11.18, and 11.34 MJ/kg DM at 1 %, 3 %, and 5 % inclusion levels, respectively.

The predicted dry matter digestibility index increased from 70.2 % (control) to 76.4 % at 5 % modeled inclusion, corresponding to a calculated relative change of 8.8 %.

Similarly, the relative protease and amylase indices demonstrated dose-dependent increases under modeled substitution conditions. These indices reflect theoretical changes in nutrient availability based on biochemical composition and do not represent direct enzymatic measurements in rumen fluid or live animals.

All values presented are derived from compositional analysis and nutritional calculation models. No in vitro rumen fermentation experiments or in vivo feeding trials were performed; therefore, the results should be interpreted as a predictive assessment of nutritional potential.

Table 4 – Predicted nutritional parameters of model feed mixtures (% of dry matter)

Inclusion level of <i>P. tomentosa</i> biomass	Predicted digestibility of DM, %	Predicted protease index, relative units	Predicted amylase index, relative units	Predicted ME, MJ/kg DM
0% (control)	70.2 ± 1.1	100	100	10.8
1%	72.8 ± 1.0	106	104	11
3%	75.1 ± 1.3	112	108	11.18
5%	76.4 ± 1.2	115	110	11.34

A comparative analysis of the calculated values for different biomass inclusion levels was performed to assess predicted trends in nutritional indices. The modeled values showed clear dose-dependent changes for predicted dry matter digestibility, protease, and amylase indices. These trends were evaluated using variance analysis of the calculated datasets (F-values and p-values reported for descriptive purposes).

It should be noted that these statistics reflect variation among calculated/predicted values rather than measured experimental data, and serve to illustrate potential differences between model scenarios.

Discussion.

The results obtained demonstrate that microclonal biomass of *Paulownia tomentosa* grown under standardized in vitro conditions exhibits stable morphometric, biochemical, and functional characteristics, confirming the effectiveness of the selected biotechnological approach.

The growth indicators of microclones, including a high rooting rate (93.4 %) and multiplication coefficient (5.2), are comparable to or exceed those reported for microclonal propagation of other deciduous plants. This highlights the high regenerative capacity of *P. tomentosa* and its suitability for controlled mass propagation. Unlike plants grown under field conditions, microclonal material formed biomass with low variability in indicators (coefficient of variation < 10 %), emphasizing the reproducibility of the method.

When compared to conventional plant-based feed ingredients, the biochemical profile of *P. tomentosa* microclonal biomass demonstrates several notable advantages. For instance, the crude protein content (18.6 %) is comparable to that of alfalfa and higher than that of many cereal-based feeds, while maintaining a favorable balance with energy components.

Unlike soybean meal, which is characterized by high protein concentration but limited structural fiber, *P. tomentosa* biomass provides a more balanced nutrient composition. This may allow its use not only as a protein supplement but also as a partial structural component in ruminant diets. Such multifunctionality is particularly valuable in the formulation of cost-effective feed mixtures.

In addition, the presence of bioactive compounds such as phenolics and flavonoids distinguishes *P. tomentosa* from conventional feed crops. These compounds are increasingly recognized for their role in modulating gut health, oxidative stress, and immune response in animals.

The biochemical composition of biomass—particularly crude protein (18.6 %), fiber (15.4 %), and nitrogen-free extractives (56.1 %)—suggests its potential nutritional value as a source of energy and structural nutrients. The protein–energy ratio, calculated from compositional data, provides a reference for comparing with other plant-based feed ingredients. The stability of amino acid and mineral content indicates the positive effect of standardized cultivation, which may not be achievable under field conditions, where elemental composition is strongly influenced by soil, climate, and agricultural practices.

The antioxidant properties of the biomass may have important physiological implications beyond simple radical scavenging capacity. In animal nutrition, oxidative stress is associated with reduced productivity, impaired immune function, and increased susceptibility to diseases. Therefore, feed components with inherent antioxidant activity may contribute to improved animal resilience under stress conditions, including heat stress and metabolic stress.

The relatively low IC₅₀ values observed in this study indicate that even small amounts of biomass could potentially exert measurable antioxidant effects. However, it should be emphasized that the bioavailability and metabolic fate of these compounds in animals remain to be investigated.

Antioxidant activity was evaluated using DPPH and ABTS assays. The IC₅₀ values (0.84 mg/mL for DPPH, 0.91 MJ/kg DM for ABTS) along with a high content of phenolic compounds (22.4 mg GAE/g) indicate a notable capacity to neutralize free radicals. The observed negative correlation between phenol content and IC₅₀ ($r = -0.87$) suggests that phenolic compounds are the main contributors to antioxidant potential. From a predictive standpoint, these bioactive compounds may enhance oxidative stability if included in feed, but in vivo effects have not been tested.

From an environmental perspective, plant-based feed additives rich in phenolic compounds and secondary metabolites may also influence rumen fermentation processes and methane production. Previous studies have shown that phytochemicals can partially inhibit methanogenic microorganisms in the rumen and redirect fermentation pathways toward more efficient energy utilization. In this context, the presence of phenolic compounds and antioxidant metabolites in *P. tomentosa* biomass may potentially contribute to improved rumen metabolic efficiency and reduced enteric methane emissions in ruminants. However, these potential environmental benefits remain hypothetical and require confirmation through in vitro rumen

fermentation experiments and in vivo animal trials.

Calculation-based evaluation of model feed formulations predicted positive trends in digestibility and metabolizable energy. Inclusion of 3–5 % biomass was associated with increased predicted dry matter digestibility (6.8–8.8 %) and higher protease and amylase indices (8–15 %). Predicted metabolizable energy increased from 10.80 to 11.34 MJ/kg DM. Descriptive statistical analysis of calculated values (ANOVA with Tukey post-hoc test) suggested potential differences among modeled inclusion levels. These statistics reflect variation among predicted datasets and should not be interpreted as confirmation from biological experiments.

From a practical perspective, the use of microclonal biomass raises important questions regarding scalability and economic feasibility. While in vitro production offers unmatched control over biomass quality, its cost-effectiveness at an industrial scale remains a critical factor.

However, advances in plant biotechnology, automation of tissue culture systems, and bioreactor-based cultivation may significantly reduce production costs in the future. In this context, microclonal biomass could initially be positioned as a high-value functional feed additive rather than a bulk feed component.

Such a strategy aligns with current trends in precision animal nutrition, where small amounts of biologically active ingredients are used to enhance overall feed efficiency and animal performance.

Compared to field-grown plants, microclonal biomass offers the advantage of formation in a controlled, sterile environment, resulting in consistent composition, reduced variability, and year-round production potential. Limitations of this study include the lack of in vivo evaluation of productive performance, the absence of gut microbiota analysis, and no assessment of economic feasibility for industrial feed applications. These areas require further experimental investigation.

Overall, the study demonstrates that microclonal biomass of *P. tomentosa* is a promising raw material with predictable biochemical and antioxidant properties. Biotechnological propagation provides advantages in reproducibility and composition control compared to traditional cultivation, while predictions of feed value remain preliminary and require experimental validation.

Another limitation of the present study is that feed evaluation was based on compositional analysis and predictive nutritional models. Direct validation through rumen fermentation experiments and controlled feeding trials will be required in future studies to confirm the biological effects of *P. tomentosa* biomass in animal nutrition.

The relevance of this approach is particularly high for regions with continental climates, such as Kazakhstan, where agricultural productivity is strongly influenced by seasonal variability, droughts, and soil degradation. The ability to produce plant biomass independently of environmental conditions represents a significant advantage for ensuring feed security.

In this regard, the integration of biotechnologically produced biomass into existing feed systems may contribute to the diversification of feed resources and the reduction of dependency on imported protein sources.

Conclusions.

This study demonstrates that microclonal biomass of *P. tomentosa* produced under controlled in vitro conditions represents a reproducible and compositionally stable plant-derived resource with potential application in animal nutrition. The obtained biomass is characterized by a balanced biochemical profile, including relatively high crude protein content (18.6 %), moderate fiber levels, and a substantial fraction of nitrogen-free extractives, supporting its classification as a multifunctional feed ingredient.

A key contribution of this work is the integration of biotechnological propagation with comprehensive compositional and functional assessment, enabling the production of standardized plant biomass independent of environmental variability. This distinguishes the proposed approach from conventional field-based systems, where fluctuations in climate, soil conditions, and agricultural practices significantly affect feed quality.

The presence of phenolic compounds and the demonstrated antioxidant activity indicate that *P. tomentosa* biomass may provide not only nutritional value but also functional benefits, potentially contributing to oxidative stability and improved physiological resilience in animals. Such dual functionality aligns with current trends in the development of phytogetic feed additives.

Model-based evaluation of feed formulations suggests that inclusion of 1–5 % microclonal biomass may enhance metabolizable energy and improve predicted digestibility parameters. Although these findings indicate promising nutritional potential, they should be interpreted as preliminary and hypothesis-generating.

Importantly, this study establishes a methodological framework for the assessment of microclonally derived plant biomass as a novel category of feed resources. The approach combines controlled cultivation,

advanced analytical techniques, and nutritional modeling, thereby providing a basis for future translational research.

Further studies should focus on experimental validation through in vitro rumen fermentation systems, in vivo feeding trials, and techno-economic analysis to assess scalability and practical feasibility. In addition, investigation of the effects on animal productivity, gut microbiota, and methane emissions will be essential to fully evaluate the biological and environmental impact.

Overall, *P. tomentosa* microclonal biomass can be regarded as a promising candidate for the development of next-generation plant-based feed additives. Its biotechnological production ensures a high level of standardization, reproducibility, and biosafety, which are critical parameters for modern sustainable livestock systems.

This approach may contribute to the transition toward more sustainable, climate-resilient, and resource-efficient livestock production systems.

REFERENCES

- Abdelli, N., Solà-Oriol, D., & Pérez, J.F. (2021). Phytogetic feed additives in poultry: Achievements, prospective and challenges. *Animals*, 11(12), 3471. <https://doi.org/10.3390/ani1123471>
- Alem, W. T. (2024). Effect of herbal extracts in animal nutrition as feed additives. *Heliyon*, 10(3), e24973. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24973>
- Burger, D.W., Liu, L., & Wu, L. (1985). Rapid micropropagation of *Paulownia tomentosa*. *HortScience*, 20, 760–761.
- Dai, J., & Mumper, R.J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>
- Džugan, M., Miłek, M., Grabek-Lejko, D., Hęclik, J., & Litwińczuk, W. (2021). Antioxidant activity, polyphenolic profiles and antibacterial properties of leaf extract of various *Paulownia* spp. clones. *Agronomy*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/agronomy11102001>
- El-Zaiat, H.M., Elshafie, E.I., Al-Marzooqi, W., & Dughaisi, K.A. (2022). Effects of neem (*Azadirachta indica*) leaf powder supplementation on rumen fermentation, feed intake, apparent digestibility and performance in Omani sheep. *Animals*, 12(22), 3146. <https://doi.org/10.3390/ani12223146>
- Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Rinne, M., Lamminen, M., Mapato, C., Ampapon, T., Wanapat, M., & Vanhatalo, A. (2018). Alternative and novel feeds for ruminants: Nutritive value, product quality and environmental aspects. *Animal*, 12(S2), 295–309. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002252>
- Hamza, E.M. (2019). Direct and indirect micropropagation of *Paulownia tomentosa* and genetic stability of produced plantlets. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 19(2), 123–135.
- Huang, H., et al. (2021). Chemical and phytochemical composition, in vitro ruminal fermentation, methane production, and nutrient degradability of fresh and ensiled *Paulownia* hybrid leaves. *Animal Feed Science and Technology*, 279, 115038. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115038>
- Ipekci, Z., Altinkut, A., Kazan, K., Bajrovic, K., & Gozukirmizi, N. (2001). High frequency plant regeneration from nodal explants of *Paulownia elongata*. *Plant Biology*, 3(2), 113–115. <https://doi.org/10.1055/s-2001-12903>
- Kan, T., Strezov, V., & Evans, T.J. (2016). Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1126–1140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.185>
- Kobernitsky, V., Kobernitsky, T., Volobaeva, V., & Muzyka, O. (2023). Comparative evaluation of sorghum collection samples grown in northern Kazakhstan. *Izdenister Natigeler*, 3(99), 197–209. <https://doi.org/10.37884/3-2023/21>
- Li, H., Wang, H., Guan, L., Li, Z., Wang, H., & Luo, J. (2023). Optimization of high-efficiency tissue culture regeneration systems in gray poplar. *Life*, 13(9), 1896. <https://doi.org/10.3390/life13091896>
- Litwińczuk, W., & Jacek, B. (2023). Growth of *Paulownia* ssp. interspecific hybrid ‘Oxytree’ micropropagated nursery plants under the influence of plant-growth regulators. *Agronomy*, 13(10), 2474. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102474>
- Mohaddab, M., El Goumi, Y., Gallo, M., Montesano, D., Zengin, G., Bouyahya, A., & Fakiri, M. (2022). Biotechnology and in vitro culture as an alternative system for secondary metabolite production. *Molecules*, 27(22). <https://doi.org/10.3390/molecules27228093>
- Moyo, B., et al. (2011). Nutritional characterization of *Moringa oleifera* leaves. *African Journal of Biotechnology*, 10(60), 12925–12933. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1599>
- Nagendran, B., et al. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>
- Negruşier, C., Buzan, L.-R., Păcurar, I., Sîngeorzan, S. M., Ceuca, V., Colişar, A., Andreica, I., Rózsa, S., & Borsai, O. (2025). Economic sustainability assessment of *Paulownia* farms in a dual production system: Case studies in temperate climates. *Sustainability*, 17(1), 21. <https://doi.org/10.3390/su17010021>
- Özge, U., & Kara, Y. (2019). Determination of antioxidant potential in the leaf and flower of *Paulownia tomentosa*. *International Journal of Secondary Metabolite*, 6(2), 106–112. <https://doi.org/10.21448/ijsm.537166>
- Petcu, C.D., Mihai, O. D., Tăpăloagă, D., Gheorghe-Irimia, R.-A., Pogurschi, E.N., Militaru, M., Borda, C., & Ghimpeţeanu, O.-M. (2023). Effects of plant-based antioxidants in animal diets and meat products. *Foods*, 12(6), 1334. <https://doi.org/10.3390/foods12061334>
- Pitino, R., De Marchi, M., Manuelian, C. L., Johnson, M., Simoni, M., Righi, F., & Tsiplakou, E. (2021). Plant feed additives as natural alternatives to the use of synthetic antioxidant vitamins. *Antioxidants*, 10(5), 757. <https://doi.org/10.3390/antiox10050757>
- Rakhatkyzy, A., Erbolova, L.S., Aubakirova, K.P., Bakytzhanova, Z.N., & Galiakparov, N.N. (2025). Optimization of the introduction of explants of apple trees into in vitro culture. *Izdenister Natigeler*, 2(106), 383–391. <https://doi.org/10.37884/2-2025/38>
- Rao, C. D., Goh, C., & Kumar, P. P. (1996). High frequency adventitious shoot regeneration from excised leaves of *Paulownia* spp. cultured in vitro. *Plant Cell Reports*, 16, 204–209.
- Ruiz-Aquino, F., Ruiz-Ángel, S., Feria-Reyes, R., Santiago-García, W., Suárez-Mota, M.E., & Rutiaga-Quiñones, J.G. (2019). Wood chemical composition of five tree species from Oaxaca, Mexico. *BioResources*, 14(4), 9826–9839. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9826-9839>
- Shah, S.H., Islam, S., Alamri, S., Parrey, Z.A., Mohammad, F., & Kalaji, H.M. (2023). Plant growth regulators mediated changes in mustard productivity. *Agriculture*, 13(3), 570. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030570>

Thiesen, F.N., Chmielarz, P., Pawłowski, T.A., et al. (2025). Stable in vitro propagation of *Fagus sylvatica*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. <https://doi.org/10.1007/s11240-025-03304-y>

Tilley, J.M. A., & Terry, R.A. (1963). A two-stage technique for in vitro digestibility. *Grass and Forage Science*, 18(2), 104–111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>

Untea, A.E., Varzaru, I., Saracila, M., Panaite, T.D., Oancea, A.G., Vlaicu, P.A., & Grosu, I.A. (2023). Antioxidant properties of cranberry leaves and walnut meal. *Antioxidants*, 12(5), 1084. <https://doi.org/10.3390/antiox12051084>

Vergun, O., Dzhamal, R., Svitlana, R., & Valentyna, F. (2022). Comparative study of biochemical composition of *Paulownia tomentosa*. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 6(2). 180–190.

Wang, J., Si, W., Du, Z., Zhang, J., & Xue, M. (2022). Antioxidants in animal feed. *Antioxidants*, 11(9), 1760. <https://doi.org/10.3390/antiox11091760>

Zhumataeva, Z., Serikbaeva, G., Turganaliyev, S., Mukuliev, Z., & Rafikov, T. (2024). Improving the ecological and economic efficiency of land use. *Izdenister Natigeler*. 2(102). 360–369. <https://doi.org/10.37884/2-2024/35>

Sembekov Medet Tleukenovich — conceptualization; formal analysis; methodology; investigation; writing – initial draft.

Kaigermazova Mariam Akhmatovna — formal analysis; data curation; visualization.

Elvira Abylgazievna Shadenova — supervision; project administration; writing – review and editing.



**A.I. Kharipzhanova^{1*}, A.A. Bolatbekova^{1,2}, M.T. Kumarbayeva¹, A.M. Kokhmetova¹,
Y.V. Zeleneva³**

¹Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

³All-Russian Research Institute for Plant Protection”, St. Petersburg, Russia.

E-mail: aidankastar@gmail.com

FIELD AND MOLECULAR SCREENING OF WHEAT RESISTANCE TO PTR IN SOUTH-EASTERN KAZAKHSTAN

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, <https://orcid.org/0000-0002-7329-1449>;

Bolatbekova Ardashka Aidynovna, Doctoral student, Junior researcher, Laboratory of Genetics and Selection, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Kazakhstan, 050040, Almaty, st. Timiryazev 45
E-mail: ardashka1984@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4694-9214>;

Kumarbayeva Madina Talgarovna, PhD of Agricultural Sciences, Senior researcher of Genetics and Breeding Laboratory, Institute of Plant Biology and Biotechnology (IPBB). Kazakhstan, 050040, Almaty, st. Timiryazev, 45
E-mail: madina_kumar90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5588-6772>;

Kokhmetova Alma Myrzabekovna, Doctor of Biological Sciences, Academician. Head of the Laboratory of Genetics and Selection of the Institute of Plant Biology and Biotechnology, Kazakhstan, 050040, Almaty, st. Timiryazev, 45

E-mail: gen_kalma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0186-7832>;

Zeleneva Yulia Vitalievna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory of Mycology and Phytopathology, Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Plant Protection”, Russia, St. Petersburg, 196608, Pushkin, Podbelskogo Highway, 3.

E-mail: zelenewa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9716-288X>.

Abstract. Tan spot is one of the most economically significant diseases of wheat (*Triticum aestivum*) in southeastern Kazakhstan, where infection levels can reach up to 70% in epiphytotic years due to the combined effects of favorable factors such as high humidity, crop residues, and monoculture. 60 wheat lines were evaluated for resistance under field conditions at the adult plant stage. Disease severity was assessed using Saari and Prescott’s (1975) scale modified by Kremeneva (2007), and disease dynamics were quantified using the AUDPC index (Wilcoxson et al., 1974). PCR amplification was performed following Faris et al. (2010) to identify *Tsn1/tsn1* alleles. The genotypes exhibited substantial variability in plant height (80–126 cm) and NDVI (0.51–0.65), reflecting differences in physiological status and productivity. Field evaluation revealed clear differentiation: 33 accessions showed complete resistance (AUDPC = 0), whereas susceptible genotypes had AUDPC values ranging from 88 to 455. Molecular screening identified a high frequency (70%) of the recessive *tsn1* allele associated with insensitivity to the PtrToxA toxin of PTR. Carriers of *tsn1* showed lower disease severity and reduced AUDPC values, while genotypes carrying *Tsn1* exhibited more pronounced disease development. Integration of molecular and field data demonstrated strong concordance and confirmed the reliability of the *Xfcp623* marker. The practical significance lies in identifying promising resistance donors, including 25-ICARDA-IPBB-2013 × D.588 ma F7 Bermet × RWKLDN9, D.22-ICARDA-IPBB-2013, 1060

D.5353 [(CWARTN) Super KAUZ $\times$ D.1017 F7 (Yr15 $\times$ Yuzhnaya-12)], Morocco $\times$ Steklovodnaya 24, П38 D.906 F5 (Almaly $\times$ 29266) $\times$ D.5357 Pastor, and D.1055 (DIAMONDBIRD/GALLYA-ARAL1//TAM200/KAUZ) $\times$ D.305 Roughrider, combining *tsn1* allele with adaptability and productivity.

Keywords: tan spot, wheat, phenotyping, biomass index, AUDPC, molecular screening, resistance, markers

For citation: Kharipzhanova A.I., Bolatbekova A.A., Kumarbayeva M.T., Kokhmetova A.M., Zeleneva Y.V. (2026). Field and molecular screening of wheat resistance to PTR in South-eastern Kazakhstan // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 106–120. <https://doi.org/10.37884/3-2026/09> [in Eng.].

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

Acknowledgements. This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP22787867).

**A.I. Харіпжанова^{1*}, A.A. Болатбекова^{1,2}, M.T. Құмарбаева¹, A.M. Кохметова¹,
Ю.В. Зеленева³**

¹Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан;

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан;

³Бүкілресейлік өсімдіктерді қорғау ғылыми-зерттеу институты, г. Санкт-Петербург.

E-mail: aidankastar@gmail.com

ОҢТҮСТІК-ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАНДА БИДАЙДЫҢ PTR-ГЕ ТӨЗІМДІЛІГІН ДАЛАЛЫҚ ЖӘНЕ МОЛЕКУЛАЛЫҚ СКРИНИНГТЕУ

Харіпжанова Айдана Ісенбайқызы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының PhD докторы, ғылыми қызметкер, Генетика және селекция зертханасы, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Қазақстан, 050040, Алматы, Тимирязев к-сі, 45

E-mail: aidankastar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7329-1449>;

Болатбекова Ардақ Айдыновна, PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер, Генетика және селекция зертханасы, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Қазақстан, 050040, Алматы, Тимирязев к-сі, 45

E-mail: ardashka1984@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4694-9214>;

Құмарбаева Мадина Талғаровна, ауыл шаруашылығы ғылымдарының PhD докторы, аға ғылыми қызметкер, Генетика және селекция зертханасы, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Қазақстан, 050040, Алматы, Тимирязев к-сі, 45

E-mail: madina_kumar90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5588-6772>;

Кохметова Алма Мырзабекқызы, биология ғылымдарының докторы, академик, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институтының Генетика және селекция зертханасының меңгерушісі, Қазақстан, 050040, Алматы, Тимирязев к-сі, 45

E-mail: gen_kalma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0186-7832>;

Зеленева Юлия Витальевна, биология ғылымдарының докторы, доцент, аға ғылыми қызметкер, «Бүкілресейлік өсімдіктерді қорғау ғылыми-зерттеу институты» Федералдық мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекемесінің микология және фитопатология зертханасы, Ресей, Санкт-Петербург, 196608, Пушкин, Подбельский тас жолы, 3

E-mail: zelenewa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9716-288X>.

Аннотация. Жапырақтың сары дақ ауруы (tan spot) Оңтүстік-Шығыс Қазақстан жағдайында бидайдың (*Triticum aestivum*) ең экономикалық маңызды ауруларының бірі болып табылады. Эпифитотиялық жылдары зақымдану деңгейі жоғары ылғалдылық, өсімдік қалдықтарының болуы және монокультура сияқты қолайлы факторлардың үйлесуіне байланысты 70 %-ға дейін жетуі мүмкін. Зерттеуде 60 бидай линиясы ересек өсімдік кезеңінде далалық жағдайда төзімділікке бағаланды. Аурудың даму деңгейі Saari және Prescott (1975), Кременёва (2007) модификацияланған шкалаларымен анықталды, ал ауру динамикасы AUDPC көрсеткішімен (Wilcoxson et al., 1974) бағаланды. ПТР-амплификация Faris et al. (2010) әдісімен жүргізіліп, *Tsn1/tsn1* аллельдері анықталды.

Генотиптер өсімдік биіктігі (80–126 см) және NDVI (0,51–0,65) бойынша айтарлықтай өзгергіштік көрсетті, бұл олардың физиологиялық жағдайы мен өнімділігіндегі айырмашылықтарды көрсетеді. Далалық бағалау нәтижесінде 33 үлгі толық төзімділік көрсетті (AUDPC = 0), ал сезімтал формаларда AUDPC мәндері 88–455 аралығында болды. Молекулалық скрининг нәтижесінде PtrToxA токсиніне сезімталдықтың болмауымен байланысты tsn1 рецессивті аллелінің жоғары жиілігі (70 %) анықталды. tsn1 тасымалдаушылары төмен зақымдану деңгейімен және төмен AUDPC мәндерімен сипатталды, ал Tsn1 аллелі бар генотиптерде ауру айқынырақ дамыды. Молекулалық және далалық деректердің интеграциясы нәтижелердің жоғары сәйкестігін көрсетті және Xfcr623 маркерінің сенімділігін растады. Практикалық маңызы зерттеу барысында анықталған линиялардың селекциялық процесте бастапқы материал ретінде жоғары құндылығында жатыр. Атап айтқанда, 25-ICARDA-IPBB-2013 × D.588 ma F7 Bermet × RWKLDN9, D.22-ICARDA-IPBB-2013, 1060 D.5353 [(CWARTN) Super KAUZ × D.1017 F7 (Yr15 × Yuzhnaya-12)], Morocco × Steklovidnaya 24, 1138 D.906 F5 (Almaly×29266) × D.5357 Pastor және D.1055 (DIAMONDBIRD/GALLYA-ARAL1//TAM200/KAUZ) × D.305 Roughrider линиялары tsn1 аллелінің болуымен сипатталып, Pyrenophora tritici-repentis қоздырғышының PtrToxA токсиніне төзімділік көрсетеді. Сонымен қатар, бұл генотиптер жоғары бейімделгіштікпен және өнімділік көрсеткіштерімен ерекшеленеді.

Түйін сөздер: сары дақ (пиренофороз) ауруы, бидай, фенотиптеу, биомасса индексі, AUDPC, молекулалық скрининг, төзімділік, маркерлер

Дәйексөз үшін: Харіпжанова А.І., Болатбекова А.А., Кумарбаева М.Т., Кохметова А.М., Зеленева Ю.В. (2026). Оңтүстік-шығыс Қазақстанда бидайдың PTR-ге төзімділігін далалық және молекулалық скринингтеу // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 106–120. <https://doi.org/10.37884/3-2026/09> [In Eng.]

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

А.І. Харіпжанова^{1}, А.А. Болатбекова^{1,2}, М.Т. Кумарбаева¹, А.М. Кохметова¹,
Ю.В. Зеленева³*

¹Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный аграрный научно-исследовательский университет, Алматы, Казахстан;

³Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: aidankastar@gmail.com

ПОЛЕВОЙ И МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СКРИНИНГ УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ К PTR В ЮГО-ВОСТОЧНОМ КАЗАХСТАНЕ

Харіпжанова Айдана Ісенбайқызы, PhD сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, лаборатория генетики и селекции, Институт биологии и биотехнологии растений. Казахстан, 050040, Алматы, ул. Тимирязева, 45

E-mail: aidankastar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7329-1449>;

Болатбекова Ардак Айдыновна, PhD докторант, младший научный сотрудник, лаборатория генетики и селекции, Институт биологии и биотехнологии растений. Казахстан, 050040, Алматы, ул. Тимирязева, 45

E-mail: ardashka1984@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4694-921>;

Кумарбаева Мадина Талгаровна, PhD доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и селекции, Институт биологии и биотехнологии растений. Казахстан, 050040, Алматы, ул. Тимирязева, 45

E-mail: madina_kumar90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5588-6772>;

Кохметова Алма Мырзабековна, доктор биологических наук, академик, заведующая лабораторией генетики и селекции Института биологии и биотехнологии растений. Казахстан, 050040, г. Алматы, ул. Тимирязева, 45

E-mail: gen_kalma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0186-7832>;

Зеленева Юлия Витальевна, доктор биологических наук., доцент, старший научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», Россия, г.

Санкт-Петербург, 196608, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3.

E-mail: zelenewa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9716-288X>.

Аннотация. Пиренофороз (жёлтая пятнистость) является одним из наиболее экономически значимых заболеваний пшеницы (*Triticum aestivum*) в Юго-Восточном Казахстане, где в эпифитотийные годы уровень поражения может достигать 70% вследствие сочетания благоприятных факторов, включая повышенную влажность, наличие растительных остатков и монокультуру. В исследовании изучено 60 линий пшеницы с оценкой устойчивости в полевых условиях на стадии взрослого растения. Степень поражения определяли по шкале Saari и Prescott (1975) в модификации Кременевой (2007), динамику болезни — по показателю AUDPC (Wilcoxson et al., 1974). ПЦР-амплификация проводилась по методике Faris et al. (2010) с идентификацией аллелей *Tsn1/tsn1*. Генотипы продемонстрировали значительную вариабельность по высоте растений (80–126 см) и NDVI (0,51–0,65), отражающую различия в физиологическом состоянии и продуктивности. Полевые оценки выявили чёткую дифференциацию: 33 образца проявили полную устойчивость (AUDPC = 0), тогда как восприимчивые формы характеризовались значениями AUDPC 88–455. Молекулярный скрининг выявил высокую частоту рецессивного аллеля *tsn1* (70 %), ассоциированного с нечувствительностью к токсину PtrToxA возбудителя *Pyrenophora tritici-repentis*. Носители *tsn1* характеризовались сниженной степенью поражения и более низкими значениями AUDPC, тогда как генотипы с аллелем *Tsn1* демонстрировали более выраженное развитие заболевания. Интеграция молекулярных и полевых данных показала высокую согласованность результатов и подтвердила надёжность маркера Xfcp623. Практическая значимость заключается в выделении перспективных доноров устойчивости, включая 25-ICARDA-IPBB-2013 × D.588 ma F7 Bermet × RWKLDN9, D.22-ICARDA-IPBB-2013, 1060 D.5353 [(CWARTN) Super KAUZ × D.1017 F7 (Yr15 × Yuzhnaya-12)], Morocco × Steklovidnaya 24, 1138 D.906 F5 (Almaly × 29266) × D.5357 Pastor, D.1055 (DIAMONDBIRD/GALLYA-ARAL1//TAM200/KAUZ) × D.305 Roughrider и другие, которые сочетают наличие аллеля *tsn1* с адаптивностью и продуктивностью. Их использование позволит ускорить создание устойчивых сортов пшеницы.

Ключевые слова: жёлтая пятнистость пшеницы, фенотипирование, индекс биомассы, AUDPC, молекулярный скрининг, устойчивость, маркеры

Для цитирования: Харіпжанова А.І., Болатбекова А.А., Кумарбаева М.Т., Кохметова А.М., Зеленева Ю.В. (2026). Полевой и молекулярный скрининг устойчивости пшеницы к PTR в Юго-восточном Казахстане // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 0–00. <https://doi.org/10.37884/3-2026/09> [In Eng.]

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

Wheat ranks among the world's most critical staple food crops, however, its production faces persistent limitations from both biological and environmental stresses, with fungal diseases like tan spot caused by *Pyrenophora tritici-repentis* being particularly problematic [Andersen et al., 2021]. These fungal pathogens not only cause immediate reductions in grain yield and quality but also compromise the plant's resistance mechanisms, making wheat crops increasingly vulnerable to additional biological and environmental stressors, thereby amplifying total production losses [Robles-Zazueta et al., 2024].

The ability of the pathogen to evolve and overcome host resistance genes complicates disease control, highlighting the need for continuous field evaluation and the identification of resistant germplasm [Taylor et al., 2023]. Across major wheat-growing regions of Europe, the Americas, and Central Asia, tan spot causes average yield losses of 10–20 %, which may increase to 30–50 % under epiphytotic conditions depending on climate, pathogen virulence, and host susceptibility [Duveiller et al., 2007; Kader et al., 2022].

Recent field surveys in Kazakhstan have revealed strong regional and genotype-dependent variation in tan spot development. In 2024, high disease incidence and severity were recorded in the Akmola region, whereas several resistant lines were identified in the Kostanay region. Moderate disease pressure was recorded in the Turkestan region of southern Kazakhstan, while several districts within the Almaty region experienced extensive pathogen spread and elevated disease severity [Keishilov et al., 2025]. These findings emphasize the importance of accurate field-based assessment of disease progression using integrative metrics such as the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC), which summarizes disease development over time by combining incidence and severity [Laribi et al., 2023]. These findings are important for the detection of re-

sistant wheat germplasm and for improving strategies aimed at reducing disease impact [Phuke et al., 2020].

Traditional approaches for evaluating plant vigor and disease resistance are often labor-intensive, prompting increased adoption of advanced phenotyping technologies to accelerate breeding efforts [Maulana et al., 2020]. High-throughput phenotyping and remote sensing tools, including spectral reflectance indices such as the NDVI, provide rapid and non-destructive evaluation of crop growth, biomass, and productivity, facilitating efficient identification of resistant genotypes [Volpato et al., 2021; Beres et al., 2020; Rahman et al., 2021]. These advanced phenomics technologies are engineered to capture comprehensive information about plant development, biomass accumulation, structural characteristics, and photosynthetic performance across numerous plants on a daily basis, delivering enhanced precision and minimized manual effort via automated and remotely operated systems (John et al., 2023).

The effectiveness of QTL mapping and genome-wide association studies can be further enhanced by integrating advanced statistical methods to identify stable resistance loci [Jin et al., 2020; Nguyen et al., 2025]. Molecular markers such as *Xfcp623* and *XBE444541* have proven effective in detecting allelic variants of the *Tsn1* and *Tsc2* genes associated with wheat responses to PtrToxA and PtrToxB toxins, confirming their role in tan spot resistance [Kokhmetova et al., 2020; Kumarbayeva et al., 2022]. Overall, combining agronomic, phytopathological, and molecular genetic evaluations provides a robust framework for identifying promising wheat genotypes for breeding programs [Kumarbayeva et al., 2025].

The objective of this study was to conduct a comprehensive phytopathological assessment of tan spot development and to perform a molecular analysis of wheat resistance to *Pyrenophora tritici-repentis* under the conditions of South-East Kazakhstan.

Material and methods

The research methodology was based on an integrated approach that combined breeding, disease-assessment, and molecular techniques. The study focused on promising wheat lines that are either currently cultivated or proposed as candidate varieties for the agro-ecological conditions of South-Eastern Kazakhstan.

Field experiments were conducted in 2024 under the conditions of the Almaty region. The growing season was characterized by a continental climate with alternating dry and moderately humid periods. The spring period (April–May) was marked by elevated temperatures and limited precipitation, whereas at the beginning of the summer period (June), episodic rainfall events were observed, creating favorable conditions for the development of foliar diseases, including tan spot. The experiment was established under rainfed field conditions (without artificial irrigation), ensuring a natural infection background. The experimental design included plots with a row spacing of 30 cm; the area of each plot was 1 m². The experiment was conducted with three replications.

Field phytopathological assessments of *Pyrenophora tritici-repentis* (tan spot) were conducted by estimating the percentage of leaf area affected by the disease. Disease severity was evaluated using the Saari and Prescott scale (1975) [Saari et al., 1975], initially developed for septoria, with later modifications proposed by O.Yu. Kremneva (2007) [Kremneva et al., 2007]. According to this scale, wheat genotypes were categorized into the following resistance classes: 0 %—very high resistance; 1–5 %—high resistance; 6–20 %—resistant; 21–30 %—susceptible; 31–50 %—moderately susceptible; 51–80 %—highly susceptible; and 81–100 %—very highly susceptible.

Disease development over time was quantified using the area under the disease progress curve (AUDPC), calculated according to the method described by Wilcoxson et al. (1974). This metric provides a robust quantitative measure of disease dynamics and allows for a comprehensive comparison of resistance levels among wheat genotypes.

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \times (t_{i+1} - t_i)$$

where y_i represents the mean infection coefficient at the i -th assessment, y_{i+1} is the mean infection coefficient at the $(i+1)$ -th assessment, $(t_{i+1} - t_i)$ denotes the time interval in days between two consecutive assessments, and n corresponds to the total number of observations.

The PCR reaction was performed in a total volume of 25 µl, containing 2.5 µl of genomic DNA, 1 µl of each primer (1 pM/µl) (SigmaAldrich, USA), 2.5 µl of dNTP mixture (2.5 mM each of dCTP, dGTP, dTTP, and dATP) (ZAO Sileks, Russia), 2.5 µl of MgCl₂ (25 mM), 0.2 µl of Taq DNA polymerase (5 U/µl) (ZAO Sileks, Russia), 2.5 µl of 10× PCR buffer, and 12.8 µl of double-distilled water (ddH₂O). PCR amplification

was conducted using a Mastercycler thermal cycler (Eppendorf, Germany). Amplified products were resolved by electrophoresis on a 2% agarose gel prepared in TBE buffer (45 mM Tris-borate, 1 mM EDTA, pH 8) with the addition of ethidium bromide [Chen et al., 1998]. Fragment sizes were estimated using a 100-bp DNA ladder (Fermentas, Lithuania). Visualization and documentation of PCR products were carried out using a Gel Doc XR+ imaging system (BIO-RAD, Hercules, USA). Leaf tissue samples from all tested entries, including two reference cultivars, were genotyped using the SSR marker *Xfcp623*, which is specific for identifying allelic variants of the *Tsn1* gene. Primer sequences and PCR cycling conditions were applied according to the protocol described by Faris et al. (2010) [Faris et al., 2010]. This marker discriminates two allelic forms: a 380-bp amplicon corresponding to the dominant *Tsn1* allele associated with sensitivity, and the absence of amplification, corresponding to the recessive *tsn1* allele associated with insensitivity to PtrToxA [Zhang et al., 2009]. The primer sequences used for the *Xfcp623* marker (5'–3') were: F – CTATTCGTAATCGTGCCTTC-CG and R – CCTTCTCTCTCACCGCTATCTCATC.

The plant biomass index (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) was measured using a portable GreenSeeker sensor (Trimble Navigation Limited, USA). NDVI values range from 0.00 to 1.00, where higher readings reflect greater plant vigor and enhanced resistance to diseases [Chu et al., 2007]. The GreenSeeker device functions by emitting short pulses of red and near-infrared light toward the crop canopy and recording the reflected signals. Elevated NDVI values are typically associated with higher productivity, improved disease tolerance, and lower nitrogen demand.

Statistical analysis was performed using Microsoft Excel. Mean values (Mean) and standard deviation (SD) were calculated for all traits. Pearson's correlation coefficient (r) was used to assess relationships between NDVI, PTR, and AUDPC. Statistical significance was determined using p -values, with $p < 0.05$ considered significant.

Results.

Phytopathological screening and phenological observations of a wheat collection were carried out at the adult plant stage under field conditions in the Almaty region. Phenological observations and evaluation of wheat lines were performed based on the main yield components. Plant height showed a wide range of variation, from 80 to 126 cm. Nineteen wheat accessions were classified as tall-growing, with plant heights ranging from 115 to 126 cm. For the preliminary assessment of promising wheat lines, the plant biomass index (NDVI) was measured. NDVI evaluation was conducted for 60 wheat lines. Significant variation in NDVI values was observed depending on genotype origin as well as plant growth and developmental stages. NDVI values among the 60 wheat samples ranged from 0.51 to 0.65 (Table 1).

The results of the field evaluation of resistance of different wheat lines to *P. tritici-repentis* were based on three disease severity assessments and the calculation of the area under the disease progress curve (AUDPC). Of the 60 tested samples, 33 lines exhibited complete resistance, showing immune reactions with AUDPC values equal to 0, indicating the absence of pathogen infection. The remaining samples demonstrated varying levels of susceptibility, with AUDPC values ranging from 88 to 455, reflecting the presence of both resistant and susceptible genotypes. The promising line GF_20_CP showed the highest level of disease development, with an AUDPC value of 455, indicating severe plant infection. Lines 634_SP2 (AUDPC = 368), GF_18_CP, and GF_21_CP (AUDPC = 350) also exhibited high susceptibility. Several lines, including 603_SP2 (AUDPC = 298), GF_5_CP (AUDPC = 315), 606_SP2, and GF_23_CP (AUDPC = 333), showed moderate levels of infection, which may require attention in breeding programs. In contrast, promising lines such as 605_SP2, 633_SP2, GF_22_CP (AUDPC = 228), 612_SP2, and 629_SP2 (AUDPC = 245) demonstrated low levels of disease severity, indicating a certain degree of resistance. Overall, the results reveal a wide range of resistance responses among the tested wheat lines to PTR, with some genotypes exhibiting high resistance and others showing pronounced susceptibility (Table 1).

Correlation analysis revealed a moderate negative relationship between NDVI and PTR ($r = -0.36$, $p < 0.01$), suggesting that higher vegetation index values are associated with lower disease severity. In contrast, a very strong positive correlation was observed between PTR and AUDPC ($r = 0.998$, $p < 0.001$), indicating that both parameters consistently reflect disease progression (Table 1).

Table 1 – Genetic characterization and breeding evaluation of selected wheat lines in southeastern Kazakhstan

№	Sample name	Agronomic parameters						Field-based assessment					AUD-PC	Presence of a gene
		Days to heading	Plant height	NDVI-1	NDVI-2	NDVI avg.	SD	PTR-1	PTR-2	PTR-3	PTR avg.	SD		
1	F1d.1049 D.767 F5 (Naz × GF55) × Arap × Arap, No.43/No.1107, 23-ICARDA-IPBB-2013 (Yr5)	221	108	0,81	0,67	0,74	0,10	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
2	F4 (F1D.1302 D.95.SIL-VERSTAR/4/338-K1-1// ANB/BUC/3/GS50A/5/TAM200/KAUZ × Naz) × Naz, No.40/No.35, Moro (Yr10)	214	105	0,77	0,61	0,69	0,11	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>Tsn1</i>
3	1. F4 (F1D.1347 D.141.NGDA146/4/ YMH/TOB//MCD/3/ LIRA/5/F130L1.12/6/ GALLYA-ARAL1/7/ TAM200/KAUZ) × Mereke, No.70/No.1103, 19-ICARDA-IPBB-2013 (Yr17)	217	106	0,77	0,56	0,67	0,15	10	20	35	21,7	12,6	298	<i>tsn1</i>
4	282/SP-2-2012 F7 (Naz × GF66) × Ulugbek, No.276, <i>Triticum spelta</i> (Japan-2013), (Yr5)	212	110	0,72	0,51	0,62	0,15	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
5	1677 D.1051 D.783 F5 (Naz × Immun78) × Arap × Arap, No.290, Clement (W; Yr9 + Yr2)	219	110	0,78	0,48	0,63	0,21	10	15	25	16,7	7,6	228	<i>tsn1</i>
6	F6 (D.1030 D.620 F4 Ulugbek × Yr4) × Mereke, No.41, Bezostaya 1 (Yr18)	212	115	0,72	0,46	0,59	0,18	20	30	15	21,7	7,6	333	<i>Tsn1</i>
7	F4 (D.1008 (D.90 F3 (Almaly (225) × 5353 Super Kraws)) × Naz), No.1103, ICAR-DA-IPBB-2013 (Yr17)	213	126	0,71	0,52	0,62	0,13	10	15	20	15,0	5,0	210	<i>Tsn1</i>
8	F4 (D.1051 D.783 F5 (Naz × Immun78) × Arap) × Arap, No.53, Mereke (Yr10)	215	88	0,77	0,45	0,61	0,23	5	10	20	11,7	7,6	158	<i>tsn1</i>
9	F4 (D.1010 (D.93 F3 (N23 × Kupava)) × Mereke), No.293, Moro (W; Yr10)	212	90	0,7	0,47	0,59	0,16	5	15	10	10,0	5,0	158	<i>tsn1</i>
10	D.1777 Darya × No.1724 F11581 × (D.807 F4 (Naz × Umanka) × Almaly) × Zimorodok, No.78 × D.42 Almaly/ No.29 Almaly	213	104	0,78	0,53	0,66	0,18	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
11	D. Sabina × D.74 Pallada, No.57 Pallada	216	100	0,71	0,58	0,65	0,09	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>Tsn1</i>
12	D.1777 Darya × No.72 Tungysh × D.133 Darya, No.68 Darya	219	115	0,72	0,47	0,6	0,18	10	15	30	18,3	10,4	245	<i>tsn1</i>
13	D.1286 D.79 (ARDEAL/ BOEMA//F135U2-1/5/ TX69A5092//BBY2/ FOX/3/PKL70/LIRA/4/ YMH/TOB//MCD/3/ LIRA × Naz) × D.367 Lapochkina 113/DO-4 DS (Sr46), No.379 Pavon 76 (Sr2, Ug99 complex)	216	95	0,74	0,49	0,62	0,18	5	15	25	15,0	10,0	210	<i>tsn1</i>

14	D.1300 D.93 (AUS 4930.7/2PAS-TOR/4/338-K1-1// ANB/BUC/3/GS50A/5/TAM200/KAUZ × Naz)* × D.367 Lapochkina 113/DO-4 DS (Sr46), No.366 RL 6099 (1995) Dyck (Sr35, Ug99)	214	85	0,73	0,47	0,6	0,18	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
15	D.No.23 × Kupava × 1774, D.23-ICARDA-IPBB-2013	223	116	0,77	0,68	0,73	0,06	0	5	15	6,7	7,6	88	tsn1
16	D. F5 No.20 × Umanka × 1773, D.22-ICARDA-IPBB-2013	216	113	0,75	0,52	0,64	0,16	5	10	20	11,7	7,6	158	Tsn1
17	D. No.23 × Kupava × 1773, D.22-ICARDA-IPBB-2013	219	118	0,75	0,52	0,64	0,16	5	10	15	10,0	5,0	140	Tsn1
18	D.179-KV-IPBBR-2012 × D.1760, 9-ICARDA-IPBB-2013	218	115	0,74	0,6	0,67	0,10	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
19	D.179-KV-IPBBR-2012 × D.586 MA F7 Bermet × RWKLDN9	216	122	0,77	0,58	0,68	0,13	10	20	30	20,0	10,0	280	tsn1
20	I. D.1770 Ramin × No.1736, F11594 (F1 D.1013 (D.97 F3 (N20 × Umanka) × Egemen) × Brundage 96 × D.23 Brundage 96, APR)	220	117	0,69	0,48	0,59	0,15	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
21	D.1777 Darya × No. 1724, F11581 × (D.807 F4 (Naz × Umanka) × Almaly) × Zimorodok, No.78 × D.42 Almaly	219	95	0,79	0,63	0,71	0,11	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
22	D.1777 Darya × No. 1737, F1 D.1014 (D.99 F3 (No.25 Madsen × Cm.24) × Arap) × Brundage 96 (APR) × D.23 Brundage 96 (APR)	219	107	0,78	0,65	0,72	0,09	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
23	D.1772 Viza × No.42 Almaly × D.131 Viza	213	112	0,78	0,63	0,71	0,11	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
24	D.35-ICARDA-IPBB-2013 × DYr9	213	103	0,84	0,61	0,73	0,16	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
25	D.845 F5 No.23 × Kupava × No.1659, D.1030 D.620 F4 (Ulugbek × Yr4 × Mereke × 197) (Yr15)	212	93	0,71	0,67	0,69	0,03	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
26	D.1320 (D.113.338-K1 1//ANB/BUC/3/GS50A/4/TREGO/JGR 8W/5/TX69A5092// BBY2/FOX/3/PKL70/LIRA/4/YMH/TOB// MCD/3/LIRA) × Tungush × D.323 (Sr27), Coorong (Triticale)	212	118	0,7	0,58	0,64	0,08	10	15	30	18,3	10,4	245	tsn1
27	D.867 F5 No.23/Kupava/22 × D.74 Pallada	217	125	0,79	0,63	0,71	0,11	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
28	D.89 E-99 × No.270 RL 6088 (Sr40) × D.74 Pallada	215	110	0,78	0,61	0,7	0,12	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
9	F1d.1049 D.767 F5 (Naz × GF55) × Arap × Arap, No.43/No.1107, 23-ICARDA-IPBB-2013 (Yr5)	221	108	0,81	0,67	0,74	0,10	0	0	0	0,0	0,0	0	tsn1
10	F4 (F1D.1302 D.95.SIL-VERSTAR/4/338-K1-1// ANB/BUC/3/GS50A/5/TAM200/KAUZ × Naz) × Naz, No.40/No.35, Moro (Yr10)	214	105	0,77	0,61	0,69	0,11	0	0	0	0,0	0,0	0	Tsn1

11	1. F4 (F1D.1347 D.141.NGDA146/4/ YMH/TOB//MCD/3/ LIRA/5/F130L1.12/6/ GALLYA-ARAL1/7/ TAM200/KAUZ) × Mereke, No.70/No.1103, 19-ICARDA-IPBB-2013 (Yr17)	217	106	0,77	0,56	0,67	0,15	10	20	35	21,7	12,6	298	<i>tsn1</i>
12	282/SP-2-2012 F7 (Naz × GF66) × Ulugbek, No.276, <i>Triticum spelta</i> (Japan-2013), (Yr5)	212	110	0,72	0,51	0, 62	0,15	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
13	1677 D.1051 D.783 F5 (Naz × Immun78) × Arap × Arap, No.290, Clement (W; Yr9 + Yr2)	219	110	0,78	0,48	0,63	0,21	10	15	25	16,7	7,6	228	<i>tsn1</i>
14	F6 (D.1030 D.620 F4 Ulugbek × Yr4) × Mer-eke, No.41, Bezostaya 1 (Yr18)	212	115	0,72	0,46	0,59	0,18	20	30	15	21,7	7,6	333	<i>Tsn1</i>
15	F4 (D.1008 (D.90 F3 (Almaly (225) × 5353 Super Kraws)) × Naz), No.1103, ICAR-DA-IPBB-2013 (Yr17)	213	126	0,71	0,52	0,62	0,13	10	15	20	15,0	5,0	210	<i>Tsn1</i>
16	F4 (D.1051 D.783 F5 (Naz × Immun78) × Arap) × Arap, No.53, Mereke (Yr10)	215	88	0,77	0,45	0,61	0,23	5	10	20	11,7	7,6	158	<i>tsn1</i>
17	F4 (D.1010 (D.93 F3 (N23 × Kupava)) × Mereke), No.293, Moro (W; Yr10)	212	90	0,7	0,47	0,59	0,16	5	15	10	10,0	5,0	158	<i>tsn1</i>
18	D.1777 Darya × No.1724 F11581 × (D.807 F4 (Naz × Umanka) × Almaly) × Zimorodok, No.78 × D.42 Almaly/ No.29 Almaly	213	104	0,78	0,53	0,66	0,18	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
19	D. Sabina × D.74 Pallada, No.57 Pallada	216	100	0,71	0,58	0, 65	0,09	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>Tsn1</i>
20	D.1777 Darya × No.72 Tungysh × D.133 Darya, No.68 Darya	219	115	0,72	0,47	0,6	0,18	10	15	30	18,3	10,4	245	<i>tsn1</i>
21	D.1286 D.79 (ARDEAL/ BOEMA//F135U2-1/5/ TX69A5092//BBY2/ FOX/3/PKL70/LIRA/4/ YMH/TOB//MCD/3/ LIRA × Naz) × D.367 Lapochkina 113/DO-4 DS (Sr46), No.379 Pavon 76 (Sr2, Ug99 complex)	216	95	0,74	0,49	0, 62	0,18	5	15	25	15,0	10,0	210	<i>tsn1</i>
22	D.1300 D.93 (AUS 4930.7/2PAS-TOR/4/338-K1-1// ANB/BUC/3/GS50A/5/ TAM200/KAUZ × Naz)* × D.367 Lapochkina 113/DO-4 DS (Sr46), No.366 RL 6099 (1995) Dyck (Sr35, Ug99)	214	85	0,73	0,47	0,6	0,18	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
23	D.No.23 × Kupava × 1774, D.23-ICARDA-IPBB-2013	223	116	0,77	0,68	0,73	0,06	0	5	15	6,7	7,6	88	<i>tsn1</i>
24	D. F5 No.20 × Umanka × 1773, D.22-ICARDA-IPBB-2013	216	113	0,75	0,52	0, 64	0,16	5	10	20	11,7	7,6	158	<i>Tsn1</i>
25	D. No.23 × Kupava × 1773, D.22-ICARDA-IPBB-2013	219	118	0,75	0,52	0,64	0,16	5	10	15	10,0	5,0	140	<i>Tsn1</i>
26	D.179-KV-IPBBR-2012 × D.1760, 9-ICAR-DA-IPBB-2013	218	115	0,74	0,6	0,67	0,10	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>

27	D.179-KV-IPBBR-2012 × D.586 MA F7 Bermet × RWKLDN9	216	122	0,77	0,58	0,68	0,13	10	20	30	20,0	10,0	280	<i>tsn1</i>
28	1. D.1770 Ramin × No.1736, F11594 (F1 D.1013 (D.97 F3 (N20 × Umanka) × Egemen) × Brundage 96 × D.23 Brundage 96, APR)	220	117	0,69	0,48	0,59	0,15	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
29	D.1134(TAM200 3 F60314.76 MRL C NO79 4 84.40 (Turkey)× Tungush × D.72 Tungysh	216	123	0,77	0,62	0,7	0,11	5	20	35	20,0	15,0	280	<i>Tsn1</i>
30	D.1320 (D.113.338-K11//ANB/ BUC/3/GS50A/4/ TREGO/JGR 8W/5/ TX69A5092//BBY2/ FOX/3/PKL70/LIRA/4/ YMH/TOB//MCD/3/ LIRA) × Tungush× D.72 Tungysh	213	113	0,67	0,64	0,66	0,02	10	15	25	16,7	7,6	228	<i>Tsn1</i>
31	D.1214 D.5(MV102000/4/AGRI/ NAC//KAUZ/3/1D13.1/ MLT) × Tungush × D.71 Egemen	217	112	0,78	0,56	0,67	0,16	15	25	40	26,7	12,6	368	<i>Tsn1</i>
32	D.11 Fielder × No.269 RL6082 (<i>Sr39</i>) × D.88 E-60	212	100	0,71	0,48	0,56	0,16	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>Tsn1</i>
33	D.867 × No.1657, D.1027 × Egemen × D.71 Egemen	212	124	0,73	0,57	0,65	0,11	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
34	F1 D.1302 D.95 (SIL- VERSTAR/4/338-K1-1// ANB/BUC/3/GS50A/5/ TAM200/KAUZ) × Naz × Naz No.40 × D.345 T.mono.deriv.	214	122	0,75	0,54	0,65	0,15	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
35	D (1231 D.22 (KALYOZ-18//8229/ OK81306/4/AGRI/ NAC//KAUZ/3/1D13.1/ MLT × Egemen) × D.271 W2691*2/ Khapstein	213	90	0,73	0,38	0,56	0,25	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>Tsn1</i>
36	D.1055 (DIA- MONDBIRD/GAL- LYA-ARAL1//TAM200/ KAUZ) × D.305 Roughrider	213	124	0,77	0,58	0,68	0,13	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
37	D.1046(DALNITS- KAYA/4/AGRI/NAC// KAUZ/3/1D13.1/MLT/5/ F10S-1//ATAY/GAL- VEZ87) × No.1740, F1 D.1017 D.103 F3 (N91 × 5353) × Buck Buck (<i>Lr16</i> , slow rust.); < <i>Sr</i> according to Rsaliev), No.234 × D.306 Sisson	219	85	0,79	0,66	0,73	0,09	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
38	D. No.23 × Kupava × 1773, D.22-ICARDA- IPBB-2013	219	83	0,82	0,67	0,75	0,11	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
39	D. U11AGEC-17 × D. <i>Yr18</i>	215	105	0,79	0,53	0,66	0,18	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>Tsn1</i>
40	D.1768 Opax-70 × D.307 Fleming	217	115	0,83	0,7	0,77	0,09	10	20	30	20,0	10,0	280	<i>tsn1</i>
41	D.897 F5 (No. 25 Mad- sen × Almaly) × No.254 GENARO 81 (<i>Lr26</i> , + slow rusting) × D.42 Almaly	222	90	0,81	0,47	0,64	0,24	10	30	20	20,0	10,0	315	<i>tsn1</i>

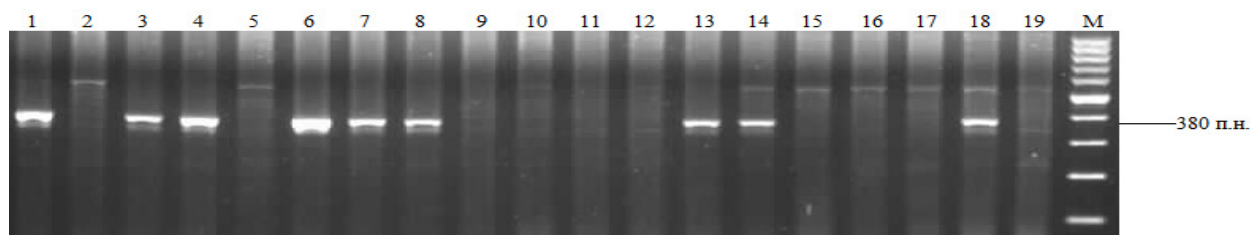
42	F5 D.1046 (DALNITS-KAYA/4/AGRI/NAC//KAUZ/3/1D13.1/MLT/5/F10S-1//ATAY/GAL-VEZ87) × D.303 Amigo	223	115	0,82	0,72	0,77	0,07	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
43	F1 (D.845 F5 No.23 × Kupava × No.1654, D.1022 (D.108 F3 (Babakh 1 (5351) × 133-3-2006) × Arap) × D.40 Arap), No.43 Arap	216	126	0,78	0,72	0,75	0,04	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
44	D. F1 D.1286 D.79 (ARDEAL/BOE-MA//F135U2-1/5/TX69A5092//BBY2/FOX/3/PKL70/LIRA/4/YMH/TOB//MCD/3/LIRA × Naz) × Naz, No.40 × 296 W2691 Srt-1 CI 17385	227	80	0,78	0,5	0,64	0,20	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
45	F1 D.1031 D.628 F4 (Naz × Obriy) Kupava × Kalyansona (Yr2), No.171 × D.48 Ulugbek 600	216	105	0,77	0,63	0,7	0,10	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
46	D.72 Tungysh × D.23 Brundage 96 (APR)	216	111	0,79	0,54	0,67	0,18	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
47	D.23 Brundage 96 (APR) × No.40 Naz × D.70 Mereke	214	126	0,76	0,6	0,68	0,11	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
48	F3587 Morocco × No.41 Oktyabrina × D.46 Knyazhna	218	96	0,79	0,61	0,7	0,13	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>Tsn1</i>
49	25-ICARDA-IPBB-2013 × D.588 MA F7 Bermet × RWKLDN9	213	105	0,78	0,56	0,67	0,16	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>tsn1</i>
50	U11AGEC-10 × D.46 Knyazhna	219	110	0,77	0,62	0,7	0,11	10	25	15	16,7	7,6	262,5	<i>Tsn1</i>
51	D.1770 Ramin × No.42 Almaly	219	101	0,76	0,55	0,66	0,15	0	0	0	0,0	0,0	0	<i>Tsn1</i>
52	D.36 Toma × 57 Akmola	213	117	0,74	0,47	0,61	0,19	10	20	30	20,0	10,0	0	<i>Tsn1</i>
53	F6 Sanzar × Arap	215	101	0,72	0,47	0,6	0,18	10	25	40	25,0	15,0	280	<i>Tsn1</i>
54	1060 D.5353 [(CWARTN) Super KAUZ (Lr26, Lr34)] × D.1017 F7 (Yr15 × Yuzhnaya-12)	215	104	0,65	0,44	0,55	0,15	20	40	30	30,0	10,0	350	<i>tsn1</i>
55	587 Morocco × No.31 Steklovidnaya 24	215	108	0,67	0,35	0,51	0,23	10	30	30	23,3	11,5	0	<i>tsn1</i>
56	1138 D.906 F5 (Almaly × 29266) × D.5357 (CWARTN) Pastor (Lr3, Lr10, Lr23 +Sl.Rust.)	215	107	0,68	0,41	0,55	0,19	10	15	25	16,7	7,6	455	<i>tsn1</i>
57	F8 Bermet × MK 3797	214	108	0,74	0,49	0,62	0,18	10	25	35	23,3	12,6	350	<i>tsn1</i>
58	F5 Almaly × Umanka/1 (Lr29 – 900 bp; Lr29 F18/R18)	215	112	0,71	0,48	0,6	0,16	0	0	0	0,0	0,0	227,5	<i>Tsn1</i>
59	F5 Parula 5355 × 293 a.2006	221	112	0,79	0,6	0,7	0,13	10	15	15	13,3	2,9	332,5	<i>Tsn1</i>
60	D.1034 D.659 F4 Arap × Yr26 × Yrym	221	107	0,8	0,63	0,72	0,12	10	25	15	16,7	7,6	0	<i>tsn1</i>
P-value		r = -0.36, p < 0.01						r = 0,9976, p < 0,001						

Figure 1 shows PCR amplification profiles of wheat genotypes generated with the *Xfcp623* marker associated with the *Tsn1/tsn1* locus governing sensitivity or insensitivity to the PtrToxA toxin produced by *P. tritici-repentis*. The diagnostic amplicon is approximately 380 base pairs (bp).

Under the adopted scoring scheme, the presence of the 380 bp fragment indicates the dominant *Tsn1* allele (PtrToxA-sensitive), whereas the absence of the diagnostic band indicates the recessive *tsn1* allele (PtrToxA-insensitive). Accordingly, the recessive *tsn1* allele (no band) was identified in samples 2, 5, 9, 10, 11, 12, 15, 16, and 17, while samples 1, 3, 4, 6, 7, 8, 13, and 14 displayed the 380 bp fragment and were classified as carriers of the *Tsn1* allele.

The susceptible check Glenlea (lane 18) produced the expected 380 bp (*Tsn1*), whereas the resistant/

insensitive check Salamouni (lane 19) showed no amplification product (*tsn1*), supporting the reliability of allele calling. Lane M contains the molecular weight marker (GeneRuler 100 bp DNA Ladder).



1 – F3587 Morocco×No.41 Oktyabrina×D.46 Knyazhna; 2 – 25-icarda-ipbb-2013×d.588 ma f7 bermet×rwkldn9; 3 – U11AGEC-10×D.46 Knyazhna; 4 – D.1770 Ramin×No.42 Almaly; 5 – D.No. 23×Kupava×1773, D.22-ICARDA-IPBB-2013; 6 – D.36 Toma×57 Akmola; 7 – F6 Sanzar×Arap; 8 – D. U11AGEC-17×D. Yr18; 9 – 1060 D.5353 [(CWARTN) Super KAUZ (*Lr26*, *Lr34*)]×D.1017 F7 (*Yr15*×Yuzhnaya-12); 10 – 587 Morocco×No.31 Steklovodnaya 24; 11 – 1138 D.906 F5 (Almaly×29266)×D.5357 (CWARTN) Pastor (*Lr3*, *Lr10*, *Lr23* +Sl.Rust.); 12 – F8 Bermet×MK 3797; 13 – F5 Almaly×Umanka/1 (*Lr29* – 900 bp; *Lr29F18/R18*); 14 – F5 Parula 5355×293 a.2006; 15 – D.1034 D.659 F4 Arap×Yr26×Yrym; 16 – D.1055 (DIAMONDBIRD/GALLYA-ARAL1//TAM200/KAUZ)×D.305Roughrider; 17 D.1046 (DALNITSKAYA/4/AGRI/NAC//KAUZ/3/1D13.1/MLT/5/F10S-1//ATAY/GALVEZ87)×No.1740,F1D.1017D.103F3 (N91×5353)×BuckBuck(*Lr16*,slowrust.); <S according to Rsaliev), No.234×D.306 Sisson; 18 - Glenlea (negative control); 19 - Salamouni (positive control); M -molecular weight marker (Gene Ruler 100bp DNA Ladder)

Fig. 1. PCR amplification profiles of wheat genotypes using the *Xfcp623* marker for detection of the *tsn1* allele associated with Ptr-ToxA insensitivity

Results of molecular screening using the *Xfcp623* marker revealed a high frequency of the *tsn1* allele among the analyzed wheat genotypes (Table 1). Of the 60 genotypes evaluated, 41 lines carried the recessive *tsn1* allele associated with insensitivity to the PtrToxA toxin, accounting for 70.0 % of the studied material. These genotypes were predominantly characterized by low disease severity scores across three field assessments (PTR-1–PTR-3) and low AUDPC values, indicating reduced disease development and enhanced field resistance to *P. tritici-repentis*. In contrast, genotypes carrying the dominant *Tsn1* allele generally exhibited higher disease severity and increased AUDPC values.

The distribution histograms of the biomass index (NDVI), mean field value of *Pyrenophora tritici* (PTR), plant height, and area under the disease development curve (AUDPC) are shown in Figure 2. The histograms reflect the variability of key agronomic traits and resistance indicators among the studied wheat genotypes. NDVI and plant height values are characterized by a relatively normal distribution, while PTR and AUDPC indicators exhibit an asymmetric distribution with a predominance of genotypes with low and moderate infestation, indicating the presence of forms with increased resistance to *P. tritici-repentis*.

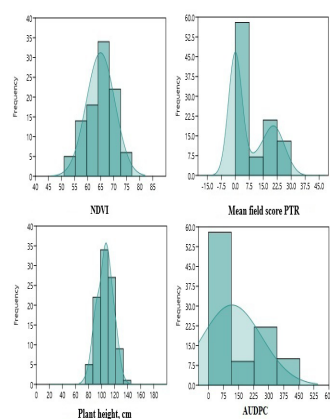


Fig. 2. Distribution of agronomic traits and resistance indicators of wheat genotypes

A comprehensive field study was conducted in South-East Kazakhstan to evaluate wheat genotypes at the adult plant stage through phytopathological screening, phenological observations, and molecular analysis. Sixty wheat lines and lines were assessed for key agronomic traits, including plant height and biomass index (NDVI), as well as for resistance to *P. tritici-repentis* using multiple field evaluations and AUDPC calculations. Disease responses ranged from complete resistance to high susceptibility, allowing the identification of contrasting genotypes. In parallel, molecular screening with the *Xfcp623* marker was used to detect the *Tsn1/tsn1* alleles associated with sensitivity or insensitivity to the PtrToxA toxin, revealing a high frequency of the resistant *tsn1* allele. Integration of phenotypic, phytopathological, and molecular data demonstrated substantial variability among genotypes and enabled the identification of wheat lines with enhanced resistance and favorable agronomic performance.

Discussion.

Screening using the *Xfcp623F/Xfcp623R* primers demonstrated that race 3, producing the PtrToxC toxin, predominates in the *Pyrenophora tritici-repentis* population in the Tambov region, whereas races producing PtrToxA occur less frequently. At the same time, the studied winter bread wheat cultivars carrying the recessive *tsn1* allele exhibited high resistance to the PtrToxA toxin and can serve as a valuable source material for breeding resistant forms (Kovalenko et al., 2023). Our studies conducted under the agroclimatic conditions of South-Eastern Kazakhstan are consistent with these findings and confirm the high efficiency of the molecular marker *Xfcp623* in identifying allelic variants of the *Tsn1/tsn1* locus, which controls the response of wheat plants to the phytotoxin PtrToxA produced by *P. tritici-repentis*.

Assessment of resistance in winter and spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and the identification of dominant (*Tsn1*) and recessive (*tsn1*) alleles in plants cultivated in the Lower Volga region showed that a considerable proportion of genotypes exhibited resistance to *Pyrenophora tritici-repentis*, whereas only 15 % demonstrated moderate resistance to *Bipolaris sorokiniana*. At the same time, genotypes carrying the recessive *tsn1* allele, which confers insensitivity to the PtrToxA toxin, were identified and represent valuable material for breeding programs (Konkova et al., 2023). In agreement with our results, 70 % of the studied wheat genotypes were carriers of the recessive *tsn1* allele associated with resistance to PtrToxA.

Field experiments conducted in 2016–2017 across two climatic zones of south-eastern Australia demonstrated that increased severity of tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) in wheat cultivars leads to reduced yield and deterioration of grain quality. Disease severity parameters (%LAA and AUDPC) showed a negative correlation with yield and grain output (Cook et al., 2024).

However, in our data, genotypes carrying the *tsn1* allele consistently exhibited lower disease severity and reduced AUDPC values. Disease-related parameters (PTR and AUDPC) displayed a skewed distribution toward lower values, indicating a high frequency of resistant genotypes within the studied collection.

Conclusion.

This comprehensive study successfully integrated molecular marker analysis with extensive field evaluations to characterize wheat genotype responses to *Pyrenophora tritici-repentis* infection in South-East Kazakhstan. The molecular screening using the *Xfcp623* marker proved highly effective in identifying allelic variants at the *Tsn1/tsn1* locus, with clear discrimination between PtrToxA-sensitive (*Tsn1*) and insensitive (*tsn1*) genotypes based on the presence or absence of the diagnostic 380 bp amplicon.

The results revealed a promising genetic landscape for tan spot resistance, with 70 % of the evaluated wheat genotypes carrying the recessive *tsn1* allele associated with PtrToxA insensitivity. This high frequency of resistance alleles suggests favorable genetic potential within the studied germplasm for developing tan spot-resistant varieties. The strong correlation between molecular marker profiles and field resistance phenotypes validates the reliability of marker-assisted selection approaches for this trait, as evidenced by the concordant results between susceptible check Glenlea (*Tsn1*-positive) and resistant check Salamouni (*tsn1*-positive).

Field evaluation data demonstrated clear phenotypic differentiation among genotypes, with *tsn1* carriers consistently exhibiting lower disease severity scores and reduced AUDPC values across multiple assessment periods. The distribution patterns observed in agronomic traits (NDVI and plant height) showed relatively normal distributions, while disease-related parameters (PTR scores and AUDPC) displayed asymmetric distributions skewed toward lower values, further confirming the predominance of resistant genotypes within the collection.

REFERENCES

- Andersen E.J., Nepal M.P., Ali, S. (2021). Necrotrophic fungus *Pyrenophora tritici-repentis* triggers expression of multiple resistance components in resistant and susceptible wheat cultivars. The plant pathology journal, 37(2), 99.
- Beres B.L., Rahmani E., Clarke J.M., Grassini P., Pozniak C.J., Geddes C.M., Ransom J.K. (2020). A systematic review of durum wheat: enhancing production systems by exploring genotype × environment × management synergies. Frontiers in Plant Science. Vol. 11. DOI: 10.3389/fpls.2020.568657 [in Eng.]
- Chen X., Line R., Leung H. (1998). Genome scanning for resistance-gene analogs in rice, barley, and wheat by high-resolution electrophoresis. Theoretical and Applied Genetics. Vol. 97. Pp. 345–355. DOI: 10.1007/s001220050905 [in Eng.]
- Chu Ch.D., Lu L., Zhang T. (2007). Sensitivity of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to seasonal and interannual climate conditions in the Lhasa area. Arctic, Antarctic, and Alpine Research. Vol. 39. №4. Pp. 635–641. DOI: 10.1657/1523-0430(07-501) [CHU]2.0.CO;2 [in Eng.]
- Cook M.J., Edwards J., Rodoni B., McLean M.S., Santa I.M., Hollaway G.J. (2024). Grain yield and quality losses caused by tan spot in wheat cultivars in Australia. PhytoFrontiers™, 4(2). 223–235 <https://doi.org/10.1094/PHYTOFR-05-23-0063-R>. [in Eng.]
- Duveiller E., Singh R.P., Nicol J.M. 2007. The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. Euphytica. Vol. 157. №3. Pp. 417–430. DOI: 10.1007/s10681-007-9380-z. [in Eng.]
- Faris J.D., Zhang Z., Lu H., Lu S., Reddy L., Cloutier S., Fellers J.P., Meinhardt S.W., Rasmussen J.B., Xu S.S., Oliver R.P., Simons K.J., Friesen T.L. (2010). A unique wheat disease resistance-like gene governs effector-triggered susceptibility to necrotrophic pathogens. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. Vol. 107. Pp. 13544–13549. <https://doi.org/10.1073/pnas.1004090107> [in Eng.]
- Jin X., Zarco-Tejada P., Schmidhalter U., Reynolds M.P., Hawkesford M.J., Varshney R.K., Li S. (2020). High-throughput estimation of crop traits: a review of ground and aerial phenotyping platforms. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. DOI: 10.1109/MGRS.2020.2998816. [in Eng.]
- John M. A., Bankole I., Ajayi-Moses O., Ijila T., Jeje T., Lalit, P. (2023). Relevance of advanced plant disease detection techniques in disease and Pest Management for Ensuring Food Security and Their Implication: A review. Am. J. Plant Science, 14(11), 1260–1295. [in Eng.]
- Kader K.A., Hunger R.M., Sreedharan A., Marek S.M. (2022). Races, disease symptoms and genetic variability in *Pyrenophora tritici-repentis* isolates from Oklahoma that cause tan spot of winter wheat. Cereal Research Communications. Vol. 50, №2. Pp. 273–280. DOI: 10.1007/s42976-021-00175-9. [in Eng.]
- Keishilov Zh., Kokhmetova A., Kumarbayeva M., Nurzhuma M., Bakhytuly K. (2025). Monitoring of distribution and development of tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) of spring wheat in the northern regions of Kazakhstan. Research, Results. Vol. 2, №106. Pp. 121–131. DOI <https://doi.org/10.37884/2-2025/12> [in Kaz].
- Kokhmetova A., Atishova M. (2020). Identification of wheat genotypes resistant to tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. №2. Pp. 29–35. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1467.38> [in Eng.]
- Kremneva O.Yu., Volkova G.V. (2007). Diagnosis and methods for evaluating wheat resistance to leaf spot diseases. Methodological guidelines. -M.- Printing House of the Russian Agricultural Academy, [in Rus].
- Kumarbayeva M., Kokhmetova A., Kovalenko N., Atishova M., Keishilov Z., Aitymbetova K. (2022). Characterization of *Pyrenophora tritici-repentis* (tan spot of wheat) races in Kazakhstan. Phytopathologia Mediterranea. Vol. 61. №2. Pp. 243–257. DOI: <https://doi.org/10.36253/phyto-13178> [in Eng.]
- Kumarbayeva M., Kokhmetova A., Keishilov Zh., Bolatbekova A., Bakhytuly K., Kovalenko N. (2025). Identification of new sources of wheat resistance to multiple diseases. Izdenister Natigeler. №3 (107). Pp. 314–324. DOI: 10.37884/3-2025/30. [in Eng.]
- Kovalenko N.M., Zeleneva Yu.V., Sudnikova V.P. (2023). Resistance of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties cultivated in the Tambov region. Agricultural Biology. V. 58. Iss. 5. Pp. 915–926. to tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) DOI: 10.15389/agrobiol.2023.5.915rus. [In Rus].
- Kon'kova E.A., Lyascheva S.V., Zeleneva Y.V., Kovalenko N.M. (2023). Characteristics of perspective wheat cultivars, admitted to cultivation in the lower Volga region of the Russian Federation, based on resistance to perynophorosis and tan spot pathogens. Agricultural Biology. V. 58. Iss. 5. Pp. 852–863. DOI: 10.15389/agrobiol.2023.5.852rus. [In Rus].
- Kader K.A., Hunger R.M., Sreedharan A., Marek S.M. (2022). Races, disease symptoms and genetic variability in *Pyrenophora tritici-repentis* isolates from Oklahoma that cause tan spot of winter wheat. Cereal Research Communications. Vol. 50, №2. Pp. 273–280. <https://doi.org/10.1007/>

s42976-021-00175-9 [in Eng.]

Laribi M., Fredua-Agyeman R., Ben M'Barek S., Sansaloni C.P., Dreisigacker S., Gamba F.M., Strelkov S.E. (2023). Genome-wide association analysis of tan spot disease resistance in durum wheat accessions from Tunisia. *Frontiers in Genetics*. – Vol. 14. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1231027> [in Eng.]

Maulana F., Anderson J.D., Butler T.J., Ma X.F. (2020). Improving dual-purpose winter wheat Recent Advances in Grain Crops Research. Vol. 73. [in Eng.]

Nguyen H.T., Khan M.A.R., Nguyen T.T., Pham N.T., Nguyen T.T.B., Anik T.R. (2025). Ha C.V. Advancing crop resilience through high-throughput phenotyping for crop improvement under climate change *Plants*. – Vol. 14, №6. <https://doi.org/10.3390/plants14060907> [in Eng.]

Phuke R.M., He X., Juliana P., Bishnoi S.K., Singh G. P., Kabir M.R., Roy K.K., Joshi A.K., Singh, P.K. (2020). Association mapping of seedling resistance to tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis* race 1) in CIMMYT and South Asian wheat germplasm. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1309. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01309> [in Eng.]

Rahman M.M., Crain J., Haghighattalab A., Singh R.P., Poland J. (2021). Improving wheat yield prediction using secondary traits and high-density phenotyping under heat-stressed environments *Frontiers in Plant Science*. Vol. 12. <https://doi.org/10.5061/dryad.vdncjsxrz>. [in Eng.]

Robles-Zazueta C.A., Crespo-Herrera L.A., Piñera-Chavez F.J., Rivera-Amado, C., Aradottir, G.I. (2024). Climate change impacts on crop breeding: Targeting interacting biotic and abiotic stresses for wheat improvement. *The Plant Genome*, 17(1), e20365.

Saari E.E., Prescott J.M. 1975. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Disease Reporter*. Vol. 59. – P. 377–380. [in Eng.]

Taylor J., Jorgensen D., Moffat C.S., Chalmers K.J., Fox R., Hollaway G.J., Shankar M. (2023). An international wheat diversity panel reveals novel sources of genetic resistance to tan spot in Australia. *Theoretical and Applied Genetics*. Vol. 136. №3. DOI: 10.1007/s00122-023-04332-y [in Eng.]

Volpato L., Pinto F., González-Pérez L., Thompson I.G., Borém A., Reynolds M., Rodrigues Jr. F.A. (2021). High throughput field phenotyping for plant height using UAV-based RGB imagery in wheat breeding lines. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 12. DOI:10.3389/fpls.2021.591587 [in Eng.]

Zhang Z., Friesen T.L., Simons K.J., Xu S.S., Faris J.D. (2009). Development, identification, and validation of markers for marker-assisted selection against the *Stagonospora nodorum* toxin sensitivity genes *Tsn1* and *Snn2* in wheat. *Molecular Breeding*. Vol. 23. Pp. 35–49. DOI: 10.1007/s11032-008-9211-5 [in Eng.]

Authors' contributions

Kharipzhanova Aidana – Data curation; Formal analysis; Roles/Writing – original draft; and Writing – review& editing.

Bolatbekova Ardak – Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing – original draft; and Writing – review&editing.

Kumarbayeva Madina – Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Roles/Writing – original draft; and Writing – review&editing.

Kokhmetova Alma – onceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Roles/Writing – original draft; and Writ-ing– review&editing.



N.Zh. Shissenbayeva^{1*}, *A. Adilkhankyzy*², *G.B. Berden*¹, *A.A. Kassymov*¹, *N.Y. Tashigul*³

¹LLP «Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev», Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

³Pamukkale University, Denizli, Turkey.

E-mail: shisenbaevan00@gmail.com

DOSE-DEPENDENT MORTALITY OF THE SPIDER MITE *TETRANYCHUS TURKESTANI* UNDER TREATMENT WITH VARIOUS ACTIVE INGREDIENTS OF ACARICIDES

Shissenbayeva Nurgul, Master of Natural Sciences, Junior Researcher, LLP «Kazakh Research Institute for Plant Protection and Quarantine», Kazakhstan, Almaty

E-mail: shisenbaevan00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-8930-4274>;

Ainura Adilkhankyzy, Doctoral student, Kazakh National Agrarian Research University, Kazakhstan, Almaty

E-mail: adilhan-ainura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8048-7987>;

Berden Gulbaram, Master of Agricultural Sciences, Researcher, LLP «Kazakh Research Institute for Plant Protection and Quarantine», Kazakhstan, Almaty

E-mail: gulya_kz23@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9101-9147>;

Kassymov Asylan, Master of Agricultural Sciences, Senior Laboratory Assistant, LLP «Kazakh Research Institute for Plant Protection and Quarantine», Kazakhstan, Almaty

E-mail: aslan.kasymov.02@mail, <https://orcid.org/0009-0007-8192-2603>;

Tashigul Nurzhan Yerlanuly, PhD doctoral student, Pamukkale University, Denizli, Turkey

E-mail: nurzhan9601@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3109-37087>.

Abstract. The study presents the results of laboratory experiments assessing the toxicity of a number of insecticidal and acaricidal preparations against the spider mite *Tetranychus turkestanii*, which damages soybean plants under both protected and open-field conditions. For each preparation, dose-response mortality curves were constructed, reflecting the nature of the population's response to changes in the concentration of the active substance, and the main toxicological parameters— LC_{50} and LC_{90} —were calculated. This made it possible to carry out an objective comparative ranking of the preparations according to their effectiveness and to determine concentration ranges that ensure reliable pest control. It was established that the biological activity of the tested active substances differed significantly. Lambda-cyhalothrin demonstrated moderate efficacy and produced a pronounced lethal effect only at relatively high concentrations ($LC_{50} = 33.3$ mg/L; $LC_{90} = 66.7$ mg/L), indicating limited sensitivity of *T. turkestanii* to this compound. At the same time, preparations based on avermectins, as well as the combined active ingredient abamectin + spiromesifen, were characterized by high toxicity and provided a significant level of mortality even at low concentrations ($LC_{50} = 0.18$ mg/L and 0.34–6.9 mg/L, respectively). Propargite exhibited a threshold type of action ($LC_{50} = 28.5$ mg/L), reflecting the specific features of its contact toxicodynamics. The obtained results allow not only for comparison of the effectiveness of different compounds but also for identification of the specific features of their action that are important for practical application. This highlights that the choice of a preparation should be based on consideration of the dose-response effect, mechanism of action, and the potential resistance of pest populations.

Keywords: *Tetranychus turkestanii*, soybean, population density, control, dose-dependence, active ingredient, concentration

For citation: Mukhamadiyev N.S., Chadinova A.M., Mendibayeva G.Zh., Kurmangaliyeva N.D., Taishykov M. (2026). Biological protection of soybean from the Turkestan spider mite (*Tetranychus turkestanii*

Ug. et Nik) in the conditions of the Almaty region // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 121–135. <https://doi.org/10.37884/3-2026/10> [In Russ.].

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

Funding: These research data were obtained within the framework of program-targeted financing by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan under the budget program 267, 'BR22885887 Improvement and implementation of a pest management system' for 2024-2026

Н.Ж. Шисенбаева^{*1}, А.Әділханқызы², Г.Б. Берден¹, А.А.Касымов¹, Н.Е. Ташигул³

¹ЖСШ «Ж. Жиенбаев атындағы қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми зерттеу институты», Алматы, Қазақстан;

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан;

³Памуккале университеті, Денизли қаласы, Түркия.
E-mail: shisenbaevan00@gmail.com

ӨРТҮРЛІ АКАРИЦИДТЕРДІҢ ӘСЕР ЕТУШІ ЗАТТАРЫМЕН ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ TETRANYCHUS TURKESTANI ӨРМЕКШІ КЕНЕСІНІҢ ДОЗАҒА ТӘУЕЛДІ ӨЛІМІ

Шисенбаева Нургул Жусипқызы, жаратылыстану ғылымдарының магистрі, кіші ғылыми қызметкер, ЖСШ «Ж. Жиенбаев атындағы қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми зерттеу институты», Қазақстан, Алматы

E-mail: shisenbaevan00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-8930-4274>;

Әділханқызы Айнура, PhD докторанты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан

E-mail: adilhan-ainura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8048-7987>;

Берден Гүлбарам Бақытжанқызы, ауыл шаруашылық ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, ЖСШ «Ж. Жиенбаев атындағы қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми зерттеу институты», Қазақстан, Алматы

E-mail: gulya_kz23@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9101-9147>;

Касымов Асылан Ағабекұлы, ауыл шаруашылық ғылымдарының магистрі, аға зертханашы ЖСШ «Ж. Жиенбаев атындағы қазақ өсімдік қорғау және карантин ғылыми зерттеу институты», Қазақстан, Алматы

E-mail: aslan.kasymov.02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8192-2603>;

Ташигул Нұржан Ерланұлы, Памуккале университетінің PhD докторанты, Денизли қаласы, Түркия

E-mail: nurzhan9601@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3109-3708>.

Аннотация. Зерттеуде жабық және ашық алқап жағдайында соя дақылдарын зақымдайтын *Tetranychus turkestanі* өрмекші кенесіне қатысты бірқатар инсектицидтік және акарицидтік препараттардың уыттылығын бағалау бойынша зертханалық сынақтардың нәтижелері берілген. Әрбір препарат үшін популяцияның әсер етуші зат концентрациясының өзгеруіне жауап реакциясының сипатын көрсететін летальды дозаға тәуелді қисықтары тұрғызылып, негізгі токсикологиялық көрсеткіштер — LC_{50} және LC_{90} мәндері есептелді. Бұл препараттарды тиімділік деңгейі бойынша объективті салыстырмалы түрде жіктеуге және зиянкесті сенімді бақылауды қамтамасыз ететін концентрациялар диапазонын анықтауға мүмкіндік берді. Зерттелген әсер етуші заттардың биологиялық белсенділігі айтарлықтай ерекшеленетіні анықталды. Лямбда-цигалотрин орташа тиімділік көрсетіп, айқын летальді әсерді тек салыстырмалы түрде жоғары концентрацияларда қамтамасыз етті (LC_{50} = 33,3 мг/л; LC_{90} = 66,7 мг/л), бұл *T. turkestanі* түрінің аталған қосылысқа сезімталдығының шектеулі екенін көрсетеді. Сонымен қатар, авермектиндер негізіндегі препараттар, сондай-ақ абаментин + спиромезифен біріктірілген әсер етуші заты жоғары уыттылық танытып, төмен концентрациялардың өзінде жоғары летальды деңгейін қамтамасыз етті (LC_{50} = 0,18 мг/л және 0,34–6,9 мг/л сәйкесінше). Пропаргит шекті (порогтық) әсер типімен сипатталды (LC_{50} = 28,5 мг/л), бұл оның контактілі токсикодинамикасының ерекшелігін көрсетеді. Алынған нәтижелер әртүрлі қосылыстардың тиімділігін салыстырумен қатар, олардың әсер ету ерекшеліктерін де айқындауға мүмкіндік береді, бұл практикалық қолдану үшін маңызды. Бұл өз кезегінде препаратты таңдау дозаға тәуелді әсерді, әсер

ету механизмін және зиянкес популяцияларының ықтимал төзімділігін ескере отырып жүргізілуі тиіс екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: *Tetranychus turkestanі*, соя, популяция саны, күрес, дозаға тәуелділік, әсер етуші зат, концентрация

Дәйексөз үшін: Мұхамәдиев Н.С., Чадинова А.М., Меңдібаева Г.Ж., Құрманғалиева Н.Д., Тайшықов М.А. (2026). Алматы облысы жағдайында сояны Түркістан өрмекші кенесінен (*Tetranychus turkestanі* Ug. et Nik) биологиялық қорғау // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 121–135. <https://doi.org/10.37884/3-2026/10> [In Russ].

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

Алғыс. Зерттеу жұмыстары 2024 жылы Қазақстан Республикасы ауылшаруашылық министрлігінің 2024-2026 жылдарға арналған «Зиянды организмдерді басқару жүйесін жетілдіру және ендіру» (BR 22885887) тақырыбы бойынша ғылыми зерттеулерді бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру жобасының аясында жүргізілді.

Н.Ж. Шисенбаева^{1*}, А.Әділханқызы², Г.Б. Берден¹, А.А. Касымов¹, Н.Е. Ташигул³

¹ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева», Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет

³Университета Памуккале, г. Денизли, Турция.
E-mail: shisenbaevan00@gmail.com

ДОЗАЗАВИСИМАЯ СМЕРТНОСТЬ ПАУТИННОГО КЛЕЩА *TETRANYCHUS TURKESTANI* ПРИ ОБРАБОТКЕ РАЗЛИЧНЫМИ ДЕЙСТВУЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ АКАРИЦИДОВ

Шисенбаева Нургул Жусипқызы, магистр естественных наук, младший научный сотрудник, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева», Казахстан Алматы

E-mail: shisenbaevan00@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-8930-4274>;

Әділханқызы Айнура, PhD докторант, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, Алматы

E-mail: adilhan_ainura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8048-7987>;

Берден Гүлбарам Бакытжанқызы, магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева», Казахстан, Алматы

E-mail: gulya_kz23@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9101-9147>;

Касымов Асылан Агабайұлы, магистр сельскохозяйственных наук, старший лаборант, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиембаева», Казахстан, Алматы

E-mail: aslan.kasymov.02@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-8192-2603>;

Ташигул Нуржан Ерланұлы, PhD докторант университета Памуккале, г. Денизли, Турция

E-mail: nurzhan9601@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3109-3708>.

Аннотация. В работе представлены результаты лабораторных исследований по оценке токсичности ряда инсектицидных и акарицидных препаратов в отношении паутинного клеща *Tetranychus turkestanі*, поражающего соевые растения в условиях защищённого и открытого грунта. Для каждого препарата были построены дозозависимые кривые смертности, отражающие характер реакции популяции на изменение концентрации действующего вещества, и рассчитаны основные токсикологические параметры — LC_{50} и LC_{90} . Это позволило провести объективное сравнительное ранжирование препаратов по уровню эффективности и определить диапазоны концентраций, обеспечивающих надёжный контроль вредителя. Установлено, что биологическая активность исследованных действующих веществ существенно различалась. Лямбда-цигалотрин проявил умеренную эффективность и обеспечивал выраженный летальный эффект только при относительно высоких концентрациях ($LC_{50} = 33,3$ мг/л; $LC_{90} = 66,7$ мг/л), что указывает на ограниченную

чувствительность *T. turkestanі* к данному соединению. В то же время препараты на основе авермектинов, а также комбинированное действующее вещество абамектин + спиромезифен характеризовались высокой токсичностью и обеспечивали значительный уровень смертности уже при низких концентрациях ($LC_{50} = 0,18$ мг/л и $0,34–6,9$ мг/л соответственно). Пропаргит отличался пороговым типом действия ($LC_{50} = 28,5$ мг/л), что отражает специфику его контактной токсикодинамики. Полученные результаты позволяют не только сопоставить эффективность различных соединений, но и выявить особенности их действия, имеющие значение для практики. Это подчёркивает, что выбор препарата должен основываться на учёте дозозависимого эффекта, механизма действия и потенциальной устойчивости популяций вредителя.

Ключевые слова: *Tetranychus turkestanі*, соя, численность, борьба, дозозависимость, действующее вещество, концентрация

Для цитирования: Мухамадиев Н.С., Чадинова А.М., Мендибаева Г.Ж., Курмангалиева Н.Д., Тайшиков М.А (2025). Биологическая защита сои от туркестанского паутинного клеща (*Tetranychus turkestanі* Ug. et Nik) в условиях Алматинской области. // Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 121–135. <https://doi.org/10.37884/3-2026/10> [In Russ].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Данные исследования выполнены в рамках Программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по бюджетной программе 267 «BR22885887 Усовершенствование и внедрение системы управления вредными организмами» на 2024-2026 гг.

Введение.

Паутинный клещ (*Tetranychus turkestanі*) является одним из наиболее опасных и экономически значимых фитофагов сои (*Glycine max*), особенно в условиях засушливого и жаркого климата. Высокая вредоносность данного вида обусловлена его биологическими особенностями, включая короткий жизненный цикл, высокую плодовитость, быстрый темп смены поколений и выраженную полиофагию. Эти характеристики обеспечивают стремительное увеличение численности популяции и её способность быстро адаптироваться к изменяющимся условиям среды и применяемым средствам защиты растений [Shumate et al., 2023].

Серьёзной проблемой при контроле *T. turkestanі* является его высокая способность к формированию устойчивости к акарицидам. Резистентность развивается как за счёт изменений в сайтах-мишенях действия препаратов (target-site resistance), так и вследствие усиления метаболической детоксикации, связанной с гиперэкспрессией ферментных систем, включая монооксигеназы цитохрома P450, эстеразы и глутатион-S-трансферазы. Эти механизмы могут действовать синергично, существенно снижая чувствительность клещей к действующим веществам. Кроме того, в популяциях нередко наблюдается перекрёстная резистентность к нескольким классам акарицидов, что значительно осложняет выбор эффективных препаратов и снижает результативность традиционных схем химической защиты [Uygun et al., 2020; Padilha et al., 2020].

Значимость проблемы возрастает при возделывании сои, где паутинный клещ оказывает прямое влияние на формирование урожайности. Повреждения, вызываемые питанием клещей, приводят к снижению фотосинтетической активности, развитию хлороза и некроза, ускоренному старению растений и преждевременному опадению листьев. По данным полевых исследований [Assouguem et al., 2022], даже умеренная численность вредителя (около 1 особи на 1 см² листовой поверхности) приводит к снижению количества бобов и семян на растении, а также уменьшению массы 1000 семян. При высокой численности клещей потери урожая могут достигать десятков процентов, что сопоставимо с ущербом от основных насекомых-вредителей сои [Piepho et al., 2024; Мухамадиев et al., 2025].

Экологические факторы существенно влияют на динамику численности *T. turkestanі*. Засушливые условия и повышенные температуры ускоряют развитие популяций, сокращают продолжительность генерации и способствуют увеличению числа поколений за сезон. Одновременно снижается эффективность естественных регуляторов численности, что создаёт предпосылки для вспышек вредителя [Inak et al., 2023; Rabbi et al., 2022]. Дополнительным фактором является применение инсектицидов широкого спектра действия (например, пиретроидов и фосфорорганических соединений) против других вредителей сои, что приводит к уничтожению полезной энтомофауны и нарушению

биологического равновесия. В результате формируются благоприятные условия для массового размножения паутиного клеща и усиления селекционного давления в сторону устойчивых форм [Chen et al., 2025; İnak et al., 2022].

В этих условиях традиционные методы борьбы, основанные преимущественно на химических обработках, становятся всё менее эффективными. Повышается риск снижения чувствительности популяций и увеличивается вероятность неэффективных обработок, особенно при использовании сублетальных доз препаратов. Это подчёркивает необходимость перехода к интегрированным системам защиты растений (IPM), основанным на сочетании различных методов контроля.

Современные подходы IPM включают рациональное чередование действующих веществ с различными механизмами действия, применение экономических порогов вредоносности, использование биологических агентов контроля (энтомофагов и микробиологических препаратов), а также агротехнические меры, направленные на снижение благоприятности среды для вредителя. Существенную роль играет регулярный мониторинг чувствительности популяций к акарицидам, позволяющий своевременно выявлять развитие резистентности и корректировать схемы защиты [Adesanya et al., 2021].

Таким образом, эффективный контроль *T. turkestanі* возможен только при системном подходе, сочетающем химические, биологические и агротехнические методы. Реализация интегрированных стратегий позволяет не только сдерживать численность вредителя, но и замедлять процессы формирования устойчивости, обеспечивая устойчивость агроценозов и сохранение эффективности средств защиты растений в долгосрочной перспективе [Chen et al., 2022].

Методы и материалы.

Лабораторные исследования. Исследования проводили на базе лаборатории биотехнологии ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева». Объектом исследования являлась лабораторная линия туркестанского паутиного клеща (*Tetranychus turkestanі*).

Клещей культивировали в изолированных энтомологических садках на молодых растениях фасоли (*Phaseolus vulgaris*), используемых в качестве кормовой базы. Растения регулярно обновляли для поддержания оптимального физиологического состояния корма и предотвращения влияния стрессовых факторов на результаты экспериментов.

Содержание культуры и проведение биотестов осуществляли в климатической камере при строго контролируемых условиях: температура воздуха $30 \pm 1^\circ\text{C}$, относительная влажность 55–60 %, фотопериод 18 часов свет/6 часов темнота. Указанные параметры соответствуют оптимальным условиям развития паутиных клещей и обеспечивают высокую воспроизводимость экспериментальных данных.

Методика биотестов. Оценку токсичности исследуемых действующих веществ (д.в.) проводили в широком диапазоне концентраций с целью установления зависимости «доза-эффект» и определения биологической эффективности препаратов.

Для постановки опыта использовали растения фасоли, заселённые взрослыми самками клеща. Обработку проводили методом мелкодисперсного опрыскивания с использованием ручного пульверизатора до полного и равномерного смачивания листовой поверхности. Расход рабочей жидкости пересчитывали в эквивалент 300 л/га, что соответствует полевым условиям применения.

В каждом варианте опыта использовали по 25 самок клеща в четырёхкратной повторности. Таким образом, суммарная выборка для каждой концентрации составляла 100 особей на вариант. Контрольный вариант включал обработку растений водой без добавления действующих веществ.

Учёт смертности проводили через фиксированные интервалы времени (как правило, через 24, 48 и 72 часа после обработки) с регистрацией погибших и живых особей. Клещей считали погибшими при отсутствии двигательной активности при механическом раздражении.

В опытах использовали действующие вещества инсектоакарицидов, разрешённых к применению на территории Республики Казахстан против паутиного клеща на сое:

Пропаргит – обладает акарицидной активностью. Действие на вредителей - контактное. Оказывает поражающее действие на подвижные стадии развития клещей (личинка, нимфа, взрослая особь), но не обладает овицидным действием;

Аверметины – природные специфические нейротоксины, они обладают летальным контактно-

кишечным действием на насекомых.

Лямбда-цигалотрин – действует на насекомых, нарушая их нервную систему. Он воздействует на натриевые каналы, вызывая гипервозбудимость и паралич, что приводит к гибели насекомых.

Абамектин+спиромезифен – действует на пищеварительную систему вредителя, подавляя липогенез, что приводит к замедлению роста и развития молодых насекомых и снижению плодородия взрослых особей.

Схема опытов:

1. Пропаргит, норма расхода на 1 га 0,741 г/л;
2. Авермектины, норма расхода на 1 га 5,4 г/л;
3. Лямбда-цигалотрин, норма расхода на 1 га 20 г/л;
4. Абамектин-спиромезифен, норма расхода на 1 га 4,56-91,44 г/л;
5. Контроль-вода (без обработки).

В экспериментах концентрации действующих веществ выражены в мг/л при расходе рабочей жидкости 300 мл.

Биологическую эффективность учитывали по формуле Аббота 2:

$$C = 100(Ba - Aa) / Aa,$$

где, С – процент смертности вредителей с поправкой на контроль;

А и а – общее число особей в опытном варианте и контроле, соответственно;

В и в – количество погибших особей в опытном варианте и контроле, соответственно [Мухамадиев et al., 2025].

Результаты и обсуждение.

Одним из ключевых этапов комплексной оценки эффективности акарицидных препаратов является определение их токсикологических параметров, позволяющих количественно охарактеризовать степень воздействия действующих веществ на популяции вредителя. Наиболее информативными и широко применяемыми в токсикологии показателями являются LC_{50} (летальная концентрация, вызывающая гибель 50 % особей) и LC_{90} (концентрация, обеспечивающая 90 % смертность). Данные параметры отражают не только уровень токсичности препарата, но и чувствительность тест-организма, что особенно важно при сравнении веществ с различным механизмом действия и химической природой.

Использование показателей LC_{50} и LC_{90} позволяет решать ряд прикладных и теоретических задач, включая оценку биологической эффективности препаратов, выявление межпопуляционных различий в чувствительности вредителей, а также мониторинг формирования резистентности. Кроме того, анализ кривых «доза-эффект» даёт возможность оценить степень гетерогенности популяции по устойчивости и прогнозировать динамику изменения чувствительности при длительном применении акарицидов в агроценозах.

В настоящем исследовании была проведена серия лабораторных экспериментов по определению значений LC_{50} и LC_{90} для паутиного клеща *Tetranychus turkestani* – одного из наиболее распространённых и вредоносных фитофагов в условиях аридных и полуаридных регионов. Эксперименты проводились с использованием действующих веществ, различающихся по механизму токсического воздействия, что позволило получить сравнительные данные об их акарицидной активности.

Расчёт токсикологических параметров осуществлялся на основе анализа зависимости «концентрация–смертность» с применением стандартных методов биостатистической обработки (пробит-анализа или логит-моделей), обеспечивающих высокую точность аппроксимации экспериментальных данных. Такой подход позволяет нивелировать влияние случайных факторов и обеспечивает объективность при сравнении различных препаратов независимо от их химической природы и формуляции.

Анализ экспериментальных данных, полученных для пропаргита, показал наличие выраженной дозозависимой реакции популяции клеща (рисунок 1). При максимальной исследуемой концентрации 741 мг/л уровень смертности достигал 98 %, что свидетельствует о практически полном подавлении подвижных стадий вредителя и высокой акарицидной активности действующего вещества. При снижении концентрации до 513 мг/л смертность оставалась на высоком уровне (94 %), а при 285 мг/л составляла 92 %, что указывает на широкий диапазон эффективных концентраций и стабильность токсического действия препарата.

По мере дальнейшего уменьшения концентрации наблюдалось постепенное снижение уровня

смертности, однако даже при относительно низких дозах сохранялась значительная биологическая эффективность. Так, при концентрации 57 мг/л смертность достигала около 90%, что соответствует значению LC_{50} и свидетельствует о высокой чувствительности популяции клеща к данному веществу. Минимальная исследуемая концентрация 28,5 мг/л обеспечивала гибель 50 % особей (LC_{50}), что позволяет отнести пропаргит к группе высокоэффективных акарицидов.

Характер кривой «доза–эффект» для пропаргита отличался относительно пологим наклоном, что указывает на равномерное распределение чувствительности особей в исследуемой популяции. Отсутствие резкого перехода от низкой к высокой смертности свидетельствует о низкой степени гетерогенности по устойчивости и, вероятно, об отсутствии сформировавшейся резистентности на момент проведения эксперимента. Данный факт имеет важное практическое значение, так как указывает на высокую вероятность сохранения эффективности препарата при его рациональном применении.

Следует отметить, что высокая акарицидная активность пропаргита обусловлена его контактным механизмом действия, направленным преимущественно на подвижные стадии развития клеща (личинки, нимфы и имаго). Действующее вещество нарушает процессы клеточного дыхания и энергетического обмена, что приводит к быстрой гибели особей. Однако отсутствие выраженного овицидного эффекта ограничивает его воздействие на яйца, что может способствовать частичному восстановлению популяции при отсутствии повторных обработок.

В связи с этим для достижения максимальной эффективности в условиях производственных агроценозов целесообразно учитывать биологические особенности вредителя и применять препарат в периоды массового выхода личинок. Кроме того, рекомендуется интеграция пропаргита в системы интегрированной защиты растений (ИЗР), включая его чередование с акарицидами других химических классов, что позволит снизить риск формирования резистентности.

В контрольном варианте, где растения обрабатывались дистиллированной водой, уровень смертности клещей оставался на минимальном уровне и не превышал естественного фона. При этом наблюдалась высокая жизнеспособность особей, активное питание и интенсивная яйцекладка, что свидетельствует о благоприятных условиях проведения эксперимента и отсутствии стрессовых факторов, способных повлиять на достоверность результатов.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой токсичности пропаргита в отношении *T. turkestanii* и подтверждают его эффективность в качестве средства контроля численности данного вредителя. Установленные значения LC_{50} и LC_{90} могут служить базовыми ориентирами при разработке регламентов применения препарата, оптимизации норм расхода и кратности обработок, а также при проведении мониторинга чувствительности популяций в различных агроэкологических условиях.

Кроме того, данные параметры могут быть использованы в сравнительных исследованиях с другими акарицидами, что позволит формировать научно обоснованные рекомендации по выбору препаратов в зависимости от уровня зараженности, фазы развития вредителя и условий окружающей среды. В перспективе подобные исследования являются важной основой для разработки устойчивых и экологически безопасных систем защиты растений.

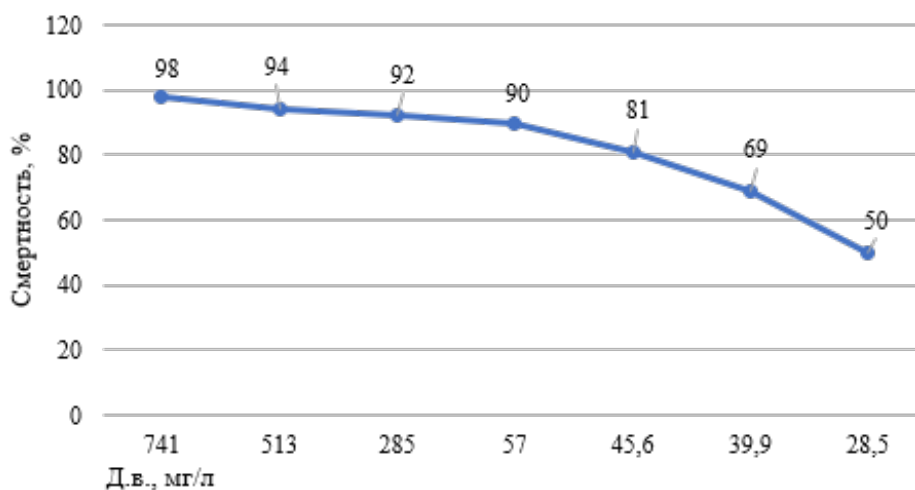


Рис. 1. Дозозависимая смертность *Tetranychus turkestanii* при обработке пропаргитом
[Fig. 1. Dose-Dependent Mortality of *Tetranychus turkestanii* Following Propargite Treatment.]

На рисунке 1 представлена зависимость уровня смертности паутинного клеща *Tetranychus turkestanii* от концентрации пропаргита, отражающая характер токсического воздействия данного действующего вещества на популяцию вредителя. Полученные экспериментальные данные демонстрируют чётко выраженный дозозависимый эффект, который является типичным для акарицидов контактного действия и свидетельствует о прямой корреляции между концентрацией препарата и степенью гибели особей.

В области высоких концентраций (741–513 мг/л) уровень смертности сохранялся на стабильно высоком уровне и варьировал в пределах 94–98 %. Такие значения указывают на достижение практически максимального биологического эффекта и подтверждают высокую токсичность пропаргита в отношении подвижных стадий клеща. Следует отметить, что даже при некотором снижении концентрации в указанном диапазоне не наблюдалось существенного падения эффективности, что свидетельствует о высокой биологической активности препарата и его способности обеспечивать надёжный контроль численности вредителя в широком диапазоне дозировок.

При снижении концентрации до 285 мг/л смертность уменьшалась незначительно и составляла около 92 %, что указывает на сохранение высокой эффективности препарата даже при уменьшении дозовой нагрузки. Данный факт имеет важное практическое значение, поскольку позволяет рассматривать возможность оптимизации норм расхода действующего вещества без существенной потери биологической эффективности, что особенно актуально в условиях экологизации сельского хозяйства и снижения пестицидной нагрузки на агроценозы.

В диапазоне средних и низких концентраций наблюдалось более выраженное снижение уровня смертности, что отражает переход от зоны максимального эффекта к области чувствительности популяции. В частности, при концентрации 57 мг/л уровень гибели особей составлял около 90 %, что соответствует значению LC_{50} . Это свидетельствует о том, что даже при относительно низких концентрациях пропаргит сохраняет высокую эффективность и способен обеспечивать подавление основной части популяции вредителя.

Минимальная исследуемая концентрация – 28,5 мг/л обеспечивала гибель 50 % особей, что соответствует значению LC_{50} и характеризует базовый уровень чувствительности популяции к действующему веществу. Соотношение между значениями LC_{50} и LC_{90} , а также форма кривой «концентрация–смертность» позволяют сделать вывод о достаточно равномерной реакции особей на воздействие препарата и отсутствии выраженных субпопуляций с повышенной устойчивостью.

Кривая «концентрация–смертность» имеет классическую сигмоидальную (S-образную) форму, характерную для токсикологических исследований подобного рода. Наличие начального пологого участка, затем резкого подъёма и последующего выхода на плато отражает постепенное вовлечение в процесс гибели всё большего числа особей по мере увеличения концентрации действующего вещества. Относительно плавный наклон кривой в области перехода указывает на сравнительно однородную чувствительность популяции и низкую степень гетерогенности по признаку устойчивости.

Отсутствие резких «изломов» или плато на промежуточных уровнях смертности может свидетельствовать о том, что в исследуемой популяции не сформированы устойчивые биотипы, способные выдерживать воздействие препарата в диапазоне средних концентраций. Это имеет принципиальное значение для практики защиты растений, так как указывает на высокую текущую эффективность пропаргита и потенциально низкий уровень резистентности.

В контрольном варианте, где обработка проводилась дистиллированной водой, уровень смертности носил исключительно фоновый характер и оставался минимальным. При этом отмечалась нормальная физиологическая активность клещей, включая активное питание, передвижение и интенсивную яйцекладку. Данные наблюдения подтверждают, что условия эксперимента были оптимальными и не оказывали стрессового воздействия на тест-организм, а следовательно, полученные результаты можно считать достоверными и репрезентативными.

Следует также подчеркнуть, что выявленная высокая эффективность пропаргита обусловлена его контактным механизмом действия, при котором действующее вещество непосредственно воздействует на кутикулу и физиологические процессы подвижных стадий клеща. Это обеспечивает быстрое проявление токсического эффекта и высокую степень контроля численности вредителя. Вместе с тем отсутствие выраженного овицидного действия может обуславливать сохранение части популяции за счёт яиц, что необходимо учитывать при разработке схем применения препарата.

Таким образом, полученные результаты убедительно подтверждают высокую биологическую эффективность пропаргита в отношении *Tetranychus turkestanі*. Установленные значения LC_{50} и LC_{90} могут быть использованы в качестве количественных критериев при сравнительной оценке акарицидов, а также служить научно обоснованной основой для разработки регламентов применения препарата в условиях сельскохозяйственного производства.

На листьях в контрольном варианте образовывались проколы и тонкая паутина. Вместе с тем наблюдалась активная кладка яиц (рисунок 2).

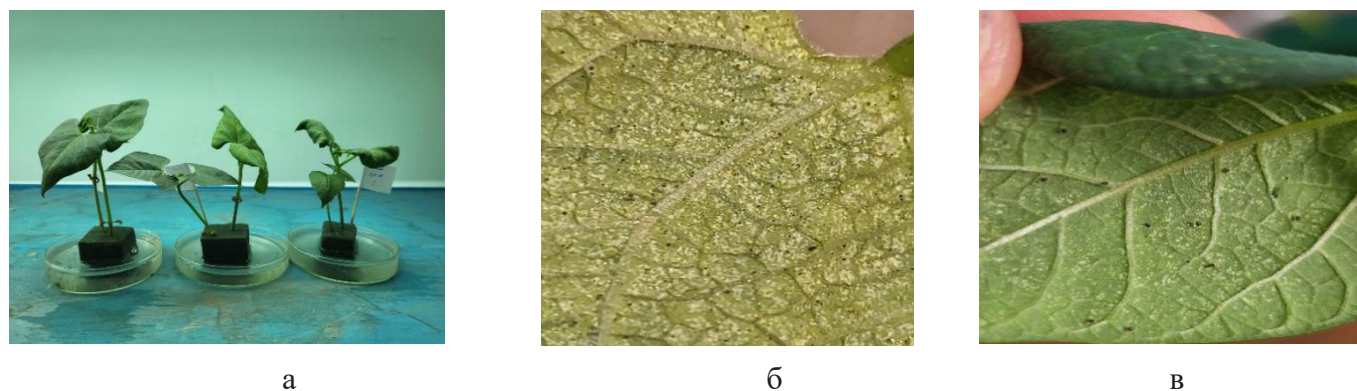


Рис. 2. Постановка лабораторных экспериментов: а. посадка самок паутинного клеща на листья фасоли; б. контроль; в. погибшие особи в варианте

[Fig. 2. Laboratory Experimental Setup: (a) Placement of Female Spider Mites on Bean Leaves; (b) Control; (c) Dead Individuals in the Treated Group.]

Аналогичные эксперименты были проведены в отношении определения LC_{50} и LC_{90} при обработке авермектинами.

При обработке авермектинами отмечена наиболее высокая токсическая активность (рисунок 3).

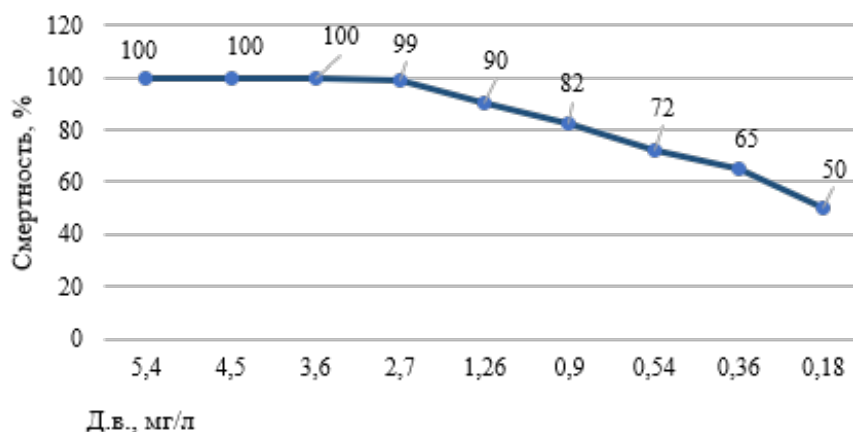


Рис. 3. Дозозависимая смертность *Tetranychus turkestanі* при обработке авермектинами

[Fig. 3. Dose-Response Mortality of *Tetranychus turkestanі* to Avermectins.]

Полученные результаты (рисунок 3) демонстрируют выраженную дозозависимую реакцию популяции вредителя, что подтверждает наличие прямой зависимости между увеличением концентрации препарата и уровнем его биологической эффективности.

В области высоких концентраций наблюдается участок плато: при максимальных значениях концентрации уровень смертности достигает 98–100 % и сохраняется практически без изменений при незначительном снижении дозы. Это свидетельствует о достижении предельного токсического эффекта, при котором гибнет подавляющее большинство особей, чувствительных к данному действующему веществу.

При переходе к средним концентрациям отмечается постепенное снижение смертности. Однако в данном диапазоне эффект остаётся высоким (порядка 85–95 %), что указывает на сохранение значительной акарицидной активности препарата даже при уменьшении дозировки. Такой характер кривой свидетельствует о достаточно широком «рабочем интервале» концентраций, обеспечивающих эффективный контроль численности вредителя.

В области более низких концентраций снижение смертности становится более выраженным и носит линейно-нисходящий характер. Это отражает переход от зоны максимальной эффективности к зоне частичного подавления популяции. В данной части кривой фиксируются ключевые токсикологические параметры: уровень смертности около 90% соответствует значению LC_{90} , тогда как снижение до 50 % определяет LC_{50} .

Форма кривой в целом приближается к сигмоидальной, что типично для зависимостей «доза–эффект» в токсикологии. При этом более растянутый и плавный характер снижения смертности по сравнению с предыдущим графиком может свидетельствовать о несколько большей гетерогенности популяции по чувствительности к данному действующему веществу либо о специфике его механизма действия (например, замедленном эффекте или частичном влиянии на разные стадии развития клеща).

В контрольном варианте уровень смертности оставался минимальным и соответствовал естественному фону, при этом наблюдалась нормальная жизнедеятельность особей, включая активное питание и яйцекладку, что подтверждает корректность условий проведения эксперимента и достоверность полученных результатов.

Таким образом, представленный график подтверждает высокую биологическую активность исследуемого действующего вещества, наличие устойчивой зависимости «концентрация–эффект» и позволяет обосновать расчётные значения LC_{50} и LC_{90} , используемые для сравнительной оценки эффективности акарицидов.

При определении значений LC_{50} и LC_{90} при обработке лямбда-цигалотрином нами были получены следующие результаты (рисунок 4).

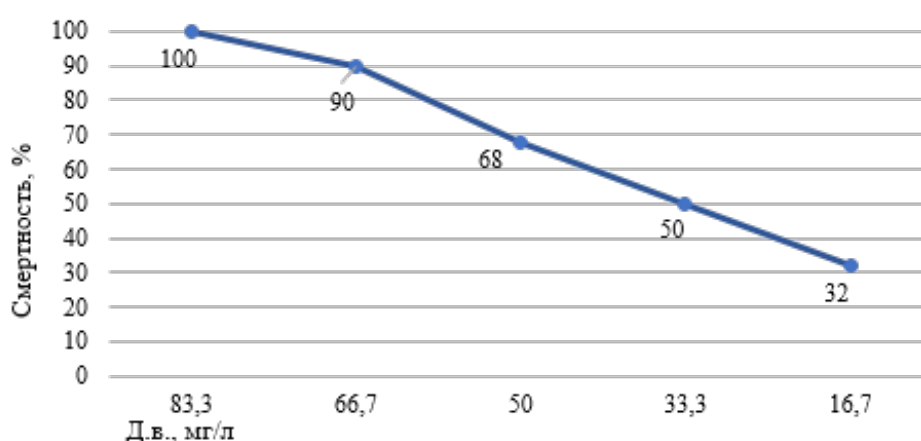


Рис. 4. Дозозависимая смертность *Tetranychus turkestanii* при обработке лямбда-цигалотрином

[Fig. 4. Dose-Response Mortality of *Tetranychus turkestanii* to Lambda-Cyhalothrin]

На рисунке 4 представлена зависимость уровня смертности паутиного клеща *Tetranychus turkestanii* от концентрации исследуемого действующего вещества, позволяющая оценить характер токсического воздействия препарата на популяцию вредителя в широком диапазоне доз. Полученные экспериментальные данные демонстрируют выраженный дозозависимый характер действия, что проявляется в закономерном снижении биологической эффективности по мере уменьшения концентрации препарата.

В области максимальных концентраций наблюдается высокий уровень смертности, достигающий значений, близких к 100 %, что свидетельствует о сильном токсическом воздействии действующего вещества на подвижные стадии клеща (личинки, нимфы и имаго). Это указывает на высокую начальную активность препарата и его способность эффективно подавлять численность вредителя при применении в верхнем диапазоне доз. Однако в отличие от ранее рассмотренных соединений, участок плато на кривой выражен менее отчётливо: даже незначительное снижение концентрации сопровождается заметным уменьшением смертности. Подобная особенность может свидетельствовать о более узком диапазоне эффективных концентраций и меньшей «буферности» препарата по отношению к снижению дозы.

При переходе к среднему диапазону концентраций снижение смертности приобретает практически линейный характер. Показатели постепенно уменьшаются от высоких значений к

умеренным (примерно 80–60%), что отражает устойчивую зависимость «доза–эффект» без выраженной зоны насыщения. В данной области, как правило, локализуются значения LC_{90} и LC_{50} , которые являются ключевыми параметрами токсикологической оценки. Их положение на кривой подтверждает, что для достижения заданного уровня биологического эффекта требуется достаточно точное соблюдение концентрации, поскольку отклонения приводят к пропорциональному снижению эффективности.

В зоне низких концентраций наблюдается дальнейшее снижение уровня смертности до минимальных значений (порядка 40–50 %), что свидетельствует о недостаточности дозы для эффективного подавления популяции вредителя. При этом кривая приобретает более крутой наклон по сравнению с аналогичными графиками для других действующих веществ. Такая крутизна указывает на высокую чувствительность эффекта к изменению концентрации: даже незначительное снижение дозировки приводит к существенному падению токсического действия. С практической точки зрения это означает, что препарат менее устойчив к вариациям условий применения (например, неравномерность нанесения, разбавление, погодные факторы).

В целом форма кривой может быть охарактеризована как переходная между классической сигмоидальной и линейно-нисходящей. С одной стороны, сохраняются признаки S-образной зависимости, типичной для биологических систем, с постепенным вовлечением особей в процесс гибели. С другой стороны, сглаженность плато и выраженная линейность в среднем диапазоне концентраций могут свидетельствовать о неоднородности популяции по чувствительности или о специфике механизма действия препарата. В частности, возможна ситуация, при которой токсический эффект реализуется только при достижении определённого порогового уровня концентрации в организме вредителя, а ниже этого уровня эффективность резко снижается.

Относительно более крутой наклон кривой также может указывать на наличие субпопуляций с различной чувствительностью, где часть особей проявляет повышенную устойчивость и требует более высоких концентраций для достижения летального эффекта. Это обстоятельство имеет важное значение в контексте оценки риска формирования резистентности, поскольку подобные особенности могут способствовать селекции устойчивых форм при длительном применении препарата в сублетальных дозах.

В контрольном варианте, где обработка проводилась дистиллированной водой, смертность клещей оставалась на уровне естественного фона и не превышала физиологически допустимых значений. При этом отмечалась нормальная жизнедеятельность особей, включая активное питание, передвижение и репродуктивную активность (яйцекладку), что подтверждает отсутствие стрессовых факторов и корректность условий проведения эксперимента. Это, в свою очередь, обеспечивает высокую достоверность полученных экспериментальных данных.

Таким образом, представленный график отражает высокую начальную токсичность исследуемого действующего вещества в отношении *Tetranychus turkestan*, однако одновременно указывает на более узкий диапазон рабочих концентраций по сравнению с ранее изученными препаратами. Данный факт имеет существенное практическое значение, поскольку требует более точного соблюдения регламентов применения и норм расхода для достижения стабильного биологического эффекта.

Полученные значения LC_{50} и LC_{90} могут быть использованы в качестве количественных ориентиров при сравнительной оценке акарицидов, а также при разработке рекомендаций по их рациональному применению. Кроме того, выявленные особенности формы кривой «концентрация–смертность» подчёркивают необходимость учёта биологических и экологических факторов, влияющих на эффективность препарата, включая фазу развития вредителя, плотность популяции и условия окружающей среды.

В перспективе подобные данные могут служить основой для разработки стратегий интегрированной защиты растений, включающих оптимизацию дозирования, чередование препаратов с различными механизмами действия и предотвращение формирования устойчивых популяций клещей.

Резкое снижение биологической эффективности при обработке наблюдалось у препарата на основе абабектина в комбинации со спиромезифеном (рисунок 5).

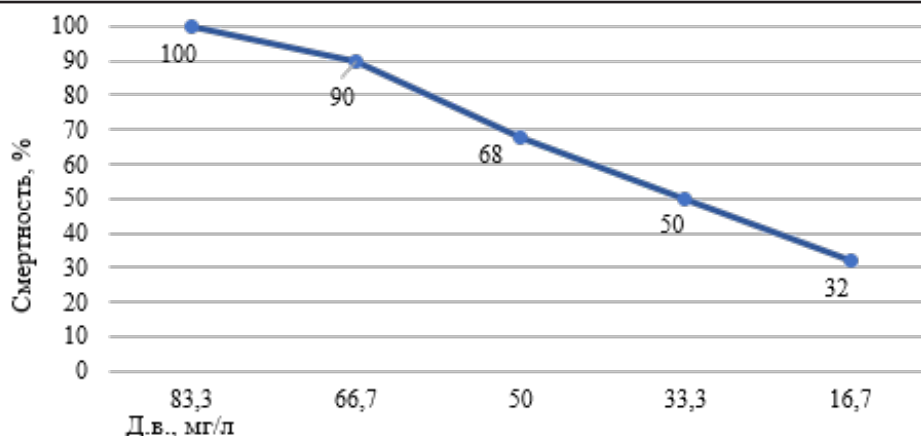


Рис. 5. Дозозависимая смертность *Tetranychus turkestanii* при обработке абамектин+спиромезифеном [Fig. 5. Dose-Response Mortality of *Tetranychus turkestanii* to Abamectin + Spiromesifen]

Анализ кривой на рисунке 5 «концентрация-эффект» показывает выраженный дозозависимый характер действия с наличием протяжённого участка максимальной эффективности.

В области высоких концентраций наблюдается чётко выраженное плато: уровень смертности достигает максимальных значений (близких к 100 %) и сохраняется практически неизменным в широком диапазоне концентраций. Это свидетельствует о высокой токсичности действующего вещества и его способности эффективно подавлять популяцию вредителя даже при некотором снижении дозировки. Подобный характер кривой указывает на наличие широкого интервала рабочих концентраций, обеспечивающих максимальный биологический эффект.

При переходе к средним концентрациям фиксируется начало снижения смертности, однако этот переход носит достаточно резкий характер. После выхода из зоны плато наблюдается существенное падение эффективности, что указывает на пороговый характер действия препарата. В данной области, как правило, располагается значение LC_{50} , отражающее минимальную концентрацию, необходимую для достижения высокого уровня контроля популяции.

В диапазоне низких концентраций кривая приобретает устойчивый нисходящий характер, а уровень смертности последовательно снижается до умеренных и низких значений (порядка 60–40 %). В этой зоне определяется значение LC_{50} , соответствующее концентрации, вызывающей гибель половины тестируемых особей. Относительно крутой наклон кривой после зоны плато может свидетельствовать о высокой чувствительности эффекта к изменению концентрации и возможной неоднородности популяции по восприимчивости.

В целом форма кривой имеет ярко выраженный сигмоидальный характер с длительным участком насыщения и последующим резким спадом эффективности. Это отличает данный график от ранее рассмотренных и указывает на специфические особенности механизма действия исследуемого вещества, при котором эффект достигает максимума в широком диапазоне доз, но быстро снижается при выходе за его пределы.

В контрольном варианте смертность оставалась минимальной и соответствовала естественному уровню, при этом наблюдалась нормальная жизнедеятельность клещей, включая питание и репродукцию, что подтверждает корректность условий эксперимента.

Проведённые лабораторные исследования показали, что все изученные действующие вещества обладают выраженной акарицидной активностью в отношении *Tetranychus turkestanii* и характеризуются чётко выраженной зависимостью «концентрация-смертность», типичной для токсикологических процессов.

Во всех вариантах наблюдалась сигмоидальная или близкая к ней форма кривых, что подтверждает корректность экспериментального подхода и позволяет надёжно определять ключевые токсикологические параметры (LC_{50} и LC_{90}). При этом установлены различия в характере кривых, отражающие особенности механизма действия и степень чувствительности популяции клеща к отдельным действующим веществам.

Наиболее благоприятным с практической точки зрения является тип зависимости с протяжённым участком плато при высоких концентрациях, что свидетельствует о наличии широкого диапазона эффективных доз. Такие препараты обеспечивают стабильно высокий уровень смертности даже

при некотором снижении концентрации, что повышает их технологическую надёжность в условиях полевого применения.

В ряде случаев выявлен более плавный характер снижения смертности, указывающий на относительно однородную чувствительность популяции и равномерное распределение эффекта по диапазону концентраций. Это позволяет прогнозировать устойчивую эффективность препаратов при варьировании норм расхода.

В то же время для отдельных действующих веществ отмечен более крутой наклон кривой и отсутствие выраженного плато, что свидетельствует о более узком диапазоне рабочих концентраций. В таких случаях эффективность препарата существенно зависит от точности дозирования, а снижение концентрации может приводить к резкому уменьшению биологического эффекта.

Полученные значения LC_{50} и LC_{90} варьировали в зависимости от действующего вещества, что подтверждает различия в их токсичности и механизмах действия. Эти показатели могут служить количественной основой для сравнительной оценки препаратов и выбора оптимальных норм их применения.

Во всех контрольных вариантах смертность носила фоновый характер, а клещи сохраняли нормальную жизнедеятельность и репродуктивную активность, что подтверждает достоверность полученных экспериментальных данных.

Обсуждение.

Полученные результаты в целом согласуются с ранее опубликованными исследованиями чувствительности тетраниховых клещей к современным акарицидам, однако при их сопоставлении необходимо учитывать методологические различия в подходах к оценке токсичности. В частности, в работах Sato et al., [Sato et al., 2005], Stumpf & Nauen [2002] и Van Leeuwen et al., [2010] летальные показатели выражены через LC_{50} в единицах массы действующего вещества на единицу площади (mg/cm^2), тогда как в настоящем исследовании использована концентрационная модель (mg/l) с пересчётом на расход рабочей жидкости. Несмотря на различия в единицах измерения, оба подхода описывают одну и ту же биологическую зависимость «доза-эффект» и позволяют проводить корректные сравнительные оценки на уровне тенденций.

Сопоставление полученных данных с литературными источниками показывает высокую степень согласованности результатов. Так, выявленная в настоящем исследовании высокая токсичность авермектинов (в частности, абамектина, $LC_{50} = 0,18 mg/l$) соответствует данным Sato et al., где для *T. turkestan*i были получены низкие значения LC_{50} (0,015-0,02 mg/cm^2), что указывает на высокую чувствительность вида к данной группе соединений. Это подтверждает эффективность авермектинов как одного из ключевых инструментов в системе контроля паутинных клещей.

В отношении пиретроидов отмечается иная картина. Зафиксированная в наших опытах умеренная чувствительность *T. turkestan*i к лямбда-цигалотрину согласуется с результатами Stumpf & Nauen, где показано значительное варьирование LC_{50} между популяциями, обусловленное различиями в истории применения инсектицидов. Это свидетельствует о более высоком риске формирования устойчивости к пиретроидам и необходимости осторожного их использования в системах защиты растений.

Особого внимания заслуживает высокая вариабельность значений LC_{50} и LC_{90} , представленных в литературе для различных популяций тетраниховых клещей. Такая изменчивость отражает значительную экологическую и генетическую пластичность данного вредителя. Различия в чувствительности могут быть обусловлены рядом факторов, включая:

- температурный режим проведения экспериментов (в настоящем исследовании — 30°C, что соответствует оптимуму развития клещей и может усиливать метаболическую активность);
- физиологическое состояние особей и стадия развития;
- особенности кормового растения;
- уровень экспрессии детоксикационных ферментов (монооксигеназы, эстеразы, глутатион-S-трансферазы);
- наличие кросс-резистентности между препаратами с близкими механизмами действия.

Кроме того, существенное влияние на формирование устойчивости оказывает регулярность и интенсивность применения препаратов в агроценозах. Длительное использование одних и тех же действующих веществ способствует отбору устойчивых биотипов, что приводит к постепенному

сдвигу кривых «доза-эффект» и увеличению значений LC_{50} и LC_{90} .

В этой связи полученные результаты подчёркивают необходимость систематического мониторинга чувствительности локальных популяций *T. turkestanі*. Такие исследования позволяют своевременно выявлять изменения в уровне резистентности и корректировать схемы защиты растений.

Таким образом, сопоставление с литературными данными не только подтверждает достоверность полученных результатов, но и подчёркивает важность регионально ориентированного подхода к оценке эффективности акарицидов и управлению устойчивостью вредителей.

Заключение.

Сублетальные концентрации, соответствующие уровню LC_{50} , используемые в лабораторных тестах, продемонстрировали, что даже при воздействии акарицидов значительная часть популяции способна выживать. С практической точки зрения это имеет принципиальное значение, поскольку в условиях агроценозов именно выжившие особи формируют последующее поколение. В результате происходит постепенное накопление генетически обусловленной устойчивости, что приводит к смещению чувствительности популяции и снижению эффективности применяемых препаратов при повторных обработках.

Особую обеспокоенность вызывают действующие вещества из группы авермектинов и синтетических пиретроидов (лямбда-цигалотрин), для которых в ходе экспериментов отмечена тенденция к снижению биологической эффективности при уменьшении концентрации. Это может свидетельствовать о начальных стадиях формирования резистентности или наличии толерантных особей в исследуемой популяции *T. turkestanі*. Подобная динамика требует учёта при разработке стратегий защиты растений, включая необходимость чередования препаратов с различными механизмами действия.

Следует отметить различия в механизмах действия исследованных веществ. Пропаргит, обладающий контактным акарицидным эффектом, продемонстрировал более стабильные результаты в широком диапазоне концентраций. Его эффективность в меньшей степени зависит от физиологического состояния вредителя и внешних факторов, что делает его более предсказуемым в применении.

В то же время препараты на основе авермектинов, а также их комбинации (например, с ингибиторами липогенеза), характеризуются более сложным механизмом действия, включающим контактно-кишечное и физиологическое воздействие. Их эффективность может существенно варьировать под влиянием абиотических факторов (температура, влажность, ультрафиолетовое излучение), а также биохимических особенностей популяции вредителя, включая активность детоксикационных ферментов. Это повышает вероятность вариабельности результата и требует более точного соблюдения регламентов применения.

Результаты проведённых экспериментов показали выраженные различия как в уровне биологической эффективности, так и в характере дозозависимой реакции популяций *T. turkestanі* на различные действующие вещества. Анализ кривых «концентрация-смертность» позволил выделить препараты с широким диапазоном эффективных концентраций и стабильным действием, а также вещества с более узким «рабочим окном», чувствительные к изменению дозировки.

Определение показателей LC_{50} и LC_{90} позволило количественно охарактеризовать токсичность исследованных препаратов и провести их корректное сравнительное сопоставление. Установленные значения могут быть использованы в качестве базовых ориентиров при оптимизации норм расхода, разработке регламентов применения и мониторинге чувствительности популяций вредителя.

Таким образом, полученные данные подчёркивают необходимость рационального использования акарицидов, включая применение адекватных дозировок, чередование действующих веществ с различным механизмом действия и учёт факторов, способствующих формированию резистентности. Это является ключевым условием сохранения эффективности химической защиты растений в долгосрочной перспективе.

REFERENCES

- Adesanya, A.W., Lavine, M.D., Moural, T.W., Lavine, L.C., Zhu, F., & Walsh, D.B. (2021). Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems // *Journal of Pest Science*, 94(3), 639–663. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01342>
- Assouguem, A., Kara, M., Mechchate, H., Bulak, Y., Benmessaoud, S., Ramzi, A., & Abdullah, K.R. (2022). Current situation of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in Northern Africa: Sustainable control methods and priorities for future research. *Sustainability*, 14(4), 2395. <https://doi.org/10.3390/su14042395>
- Chen, L., et al. (2025). Population genomics reveal multiple independent origins of pesticide resistance in the polyphagous pest *Tetranychus urticae*. *Communications Biology*, 8, 1197. <https://doi.org/10.1038/s42003-025-08658-9>
- Chen, J.C., Ma, Z.Z., Gong, Y.J., Cao, L.J., Wang, J.X., Guo, S.K., ... & Wei, S.J. (2022). Toxicity and control efficacy of an organosilicone to the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and its crop hosts. *Insects*, 13(4), 341. <https://doi.org/10.3390/insects13040341>
- Mukhamadiev, N.S., Chadinova, A.M., Mendibaeva, G.Zh., Kurmangalieva, N.D., & Taishikov, M.A. (2025). Biological protection of soybean from *Tetranychus turkestanii* under conditions of the Almaty region // *Research, Results*, 2(106), 253–263. [In Russ] <https://doi.org/10.37884/2-2025/25>
- Uygun, T., Metin, M., & Durdane, O. (2020). A new approach to monitor and assess the damage caused by two-spotted spider mite. *Experimental and Applied Acarology*, 80(3), 335–346.
- Inak, E., Demirci, B., Vandenhole, M., Söylemezoğlu, G., Van Leeuwen, T., & Toprak, U. (2023). Molecular mechanisms of resistance to spiropdiclofen and spiromesifen in *Tetranychus urticae*. *Crop Protection*, 172, 106343. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106343>
- İnak, E., Çobanoğlu, S., & Ferizli, A. G. (2022). Monitoring of acaricide resistance and target site mutations in *Tetranychus urticae* populations collected from bean fields in Central Anatolia // *Experimental and Applied Acarology*. <https://doi.org/10.1080/01647954.2022.2062048>
- Rabbi, A., Uddin, M.N., Alim, M.A., Al Bachchu, M.A., Bhuyain, M.M.H., & Akter, S. (2022). Efficacy of some pesticides against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) and their residual effects on *Coccinella septempunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae) // *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(1), 615–626. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00581-w>
- Padilha, G., Alex, R., Filho, A.C., Pozebon, H., & Rogers, J. (2020). Damage assessment and economic injury level of the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* in soybean // *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55, e01836. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01836>
- Piepho, H.-P., Malik, W. A., Bischoff, R., El-Hasan, A., Scheer, C., Sedlmeier, J. E., Gerhards, R., Petschenka, G., & Voegelé, R. T. (2024). Efficacy assessment in crop protection: A tutorial on the use of Abbott's formula // *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131, 2139–2160.
- Shumate, S., Haylett, M., Nelson, B., Young, N., Lamour, K., Walsh, D., Bradford, B., & Clements, J. (2023). Using targeted sequencing and TaqMan approaches to detect acaricide (bifenthrin, bifenazate, and etoxazole) resistance associated SNPs in *Tetranychus urticae* collected from peppermint fields and hop yards. *PLOS ONE*, 18(3), e0283211. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283211>
- Sato, M.E., Silva, M.Z., Raga, A., & Souza Filho, M.F. (2005). Abamectin resistance in *Tetranychus urticae*: Selection, stability and cross-resistance to acaricides // *Neotropical Entomology*, 34(6), 991–998. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000600014>
- Stumpf, N. & Nauen, R. (2002). Cross-resistance, inheritance, and biochemistry of mitochondrial electron transport inhibitor-acaricide resistance in *Tetranychus urticae* // *Journal of Economic Entomology*, 95(5), 693–700. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.5.693>
- Van Leeuwen, T., Vontas, J., Tsagkarakou, A., Dermauw, W., & Tirry, L. (2010). Acaricide resistance mechanisms in *Tetranychus urticae*. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 40(8), 563–572. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2010.05.008>

Shissenbayeva N.Zh. – Investigation (laboratory research), data curation (primary data collection), bioassay, writing - original draft.
Adilkhankyzy A. – Conceptualization, project administration, final approval of the manuscript for publication.
Berden G.B. – Investigation (laboratory research), methodology, formal analysis (literature review).
Kassymov A.A. – Technical support for laboratory experiments, visualization of results.
Tashigul N.Y. – Formal analysis (statistical reliability check), substantial revision of «Results» and «Discussion» sections, scientific editing.

WATER, LAND AND FOREST RESOURCES

СУ, ЖЕР ЖӘНЕ ОРМАН РЕСУРСТАРЫ

ВОДНЫЕ, ЗЕМЕЛЬНЫЕ И ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ

RESEARCH, RESULTS – ИЗДЕНИСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР – ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ
 ISSN 2304-3334 (print)

Vol. 28. Is. 3. Number 111 (2026). Pp. 136–146

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

<https://doi.org/10.37884/3-2026/11>

IRSTI / FTAXP / МРПТИ / 70.25.18



O.S. Baimakhanov^{1*}, M.N. Abdukadirova², K.I. Akylbayev¹, A.T. Shegenbayev³, A.O. Olzhabayeva¹

¹Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan;

² National Research University «Tashkent Institute of Agricultural Engineers, Irrigation and Reclamation», Tashkent, Uzbekistan;

³«Kyzylorda Branch of the National Hydrogeological Service «Kazhydrogeology» Non-Commercial Joint-Stock Company, Kyzylorda, Kazakhstan.

E-mail: Orken.baimakhanov@mail.ru

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL STUDY OF THE USE OF WASTEWATER IN AGRICULTURE: THE CASE OF KYZYLORDA CITY

Baimakhanov Orken Serikovich, Master of agricultural sciences, doctoral student, Korkyt Ata Kyzylorda University. Kazakhstan, 120014, Kyzylorda region, Kyzylorda, Aiteke bi street, 29 a

E-mail: Orken.baimakhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8902-3737>;

Abdukadirova Malokhat Norizhanovna, PhD, Associate Professor of the Department, «Ecology and water resources management», National Research University «Tashkent Institute of Agricultural Engineers, Irrigation and Reclamation». Uzbekistan, 100123, Tashkent, Kori Niyezi Street, 39

E-mail: Mabduqodirova78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1188-2662>;

Akylbayev Kairat Igisinovich, Candidate of Technical Sciences, Senior lecture the educational program «Water management and land management», Korkyt Ata Kyzylorda University. Kazakhstan, 120014, Kyzylorda region, city of Kyzylorda, Aiteke bi street 29 a

E-mail: kgu.kairat@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9982-1257>;

Shegenbayev Abzal Tleubergenovich, candidate of Technical Sciences, acting professor of the educational program «Architecture and Construction Production», Korkyt Ata Kyzylorda University. Kazakhstan, 120014, Kyzylorda region, Kyzylorda, Aiteke bi street, 29 a

E-mail: abzal772001@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5910-2840>;

Olzhabaeva Aksaule Ondasynkyzy, Doctor of PhD, Senior lecture the educational program «Water management and land management», Korkyt Ata Kyzylorda University. Kazakhstan, 120014, Kyzylorda region, Kyzylorda, Aiteke bi street, 29 a

E-mail: Seul379@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1377-7276>.

Abstract. Kyzylorda Region is considered one of the most environmentally vulnerable regions of the Republic of Kazakhstan. Problems arising from the drying of the Aral Sea, the lack of modern treatment technologies, and the increasing anthropogenic pressure have a significant negative impact on public health, the regional economy, and water resources. The development of urban housing and communal services, as well as the agro-industrial complex and anthropogenic pressures, has led to the accumulation of enormous volumes of wastewater. This increases the risk of environmental pollution near cities and further exacerbates an already deteriorating ecological situation. Taking these negative processes into account, scientific research on wastewater utilization is being conducted using the city of Kyzylorda as a case study. Experimental work was carried out at the modular biological treatment station (MBTS) in the village of Tasbuget, Kyzylorda city. The capacity of the MBTS is 6,400 m³ per day, serving a population of 120.6 thousand people. The actual volume of wastewater: on average - 2,000 m³ per day, maximum - 5,200 m³ per day, with a wear level of 18 %. The total length of the sewer network is 1,871 km, with a population coverage rate of 30 %. The area of the wastewater retention pond is 55 hectares, with a depth of 1.5 meters. The scientific research was conducted on an area of 100 m². Forage crops Kazakhstan-16, Samur-68, and Mogar-KazNIIZiR-80 were irrigated with

wastewater that had undergone additional treatment.

Keywords: wastewater, global warming, water scarcity, additional treatment, forage crops

For citation: Baimakhanov O.S., Abdukadirova M.N., Akylbayev K.I., Shegenbayev A.T., Olzhabayeva A.O. (2026). Scientific and technological study of the use of wastewater in agriculture: the case of kyzylorda city // Research, results – *Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты*. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 136–146. <https://doi.org/10.37884/3-2026/11> [in Kaz.].

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

**Ө.С. Баймаханов^{1*}, М.Н. Абдукодирова², Қ.И. Ақылбаев¹, А.Т. Шегенбаев³,
А.О. Олжабаева¹**

¹Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан;

²Ұлттық зерттеу университеті «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын мехаликандыру инженерлі институты», Ташкент, Өзбекстан;

³«Казгидрогеология» Ұлттық гидрогеологиялық қызметі КеАҚ «Қызылорда филиалы», Қызылорда, Қазақстан.

E-mail: Orken.baimakhanov@mail.ru

ҚЫЗЫЛОРДА ҚАЛАСЫ МЫСАЛЫНДА ТӨГІНДІ СУЛАРДЫ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҒЫНДА ПАЙДАЛАНУДЫ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТҮРҒЫДАН ЗЕРТТЕУ

Баймаханов Өркен Серікұлы, ауылшаруашылығы ғылымдарының магистрі, докторант, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті. Қазақстан, 120014, Қызылорда облысы, Қызылорда, Айтеке би көшесі, 29а

E-mail: Orken.baimakhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8902-3737>;

Абдукадилова Малохат Норижанқызы, PhD, «Экология және су ресурстарын басқару» кафедрасының доценті, Ұлттық зерттеу университеті «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын мехаликандыру инженерлі институты». Өзбекстан, 100123, Ташкент, Кори Ниези көшесі, 39

E-mail: Mabduqodirova78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1188-2662>;

Ақылбаев Кайрат Игісінұлы, техника ғылымдарының кандидаты, «Су шаруашылығы және жерге орналастыру» білім беру бағдарламасының аға оқытушысы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті. Қазақстан, 120014, Қызылорда облысы, Қызылорда, Айтеке би көшесі, 29а

E-mail: kgu.kairat@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9982-1257>;

Шегенбаев Абзал Тлеубергенұлы, техника ғылымдарының кандидаты, «Сәулет және құрылыс өндірісі» білім беру бағдарламасының профессор м.а., Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қазақстан, 120014, Қызылорда облысы, Қызылорда, Айтеке би көшесі, 29а

E-mail: abzal772001@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5910-2840>;

Олжабаева Аксауле Ондансыновна, PhD, старший преподаватель образовательной программы «Водное хозяйство и землеустройство» Кызылординского университета имени Коркыт Ата, Республика Казахстан, 120014, Кызылординская область, Кызылорда, улица Айтеке би, 29а

E-mail: Seul379@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1377-7276>.

Аннотация. Қызылорда облысы Қазақстан Республикасының экологиялық тұрғыдан ең осал аймақтарының бірі болып саналады. Арал теңізінің сарқылуы, замануи тазарту технологияларының жетіспеушілігі сонымен қатар антропогендік жүктемелердің артуы салдарынан туындаған теріс үдерістер халықтың денсаулығына, өңір экономикасы мен су ресурстары саласына айтарлықтай кері әсерін тигізуде. Қалалардың тұрғын үй-коммуналдық шаруашылығының, сондай-ақ агроөнеркәсіп кешенінің дамуы мен антропогендік жүктемелер төгінді сулардың орасан зор көлемде жиналуына әкелді. Бұл қалалар маңындағы қоршаған ортаның ластану қаупін күшейтіп, онсыз да өсіп келе жатқан экологиялық жағдайды одан әрі ушықтыруда. Осы жағымсыз үдерістерді басшылыққа алып Қызылорда қаласы мысалында төгінді суларды кәдеге жарату тұрғысында ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілуде. Тәжірибе жұмыстары Қызылорда қаласы, Тасбөгет кентіндегі модульдік биологиялық тазарту станциясында (МБТС) орындалды. МБТС-ның өнімділігі тәулігіне 6400 м³, қамтылған халық саны – 120,6 мың адамды құрайды. Нақты төгінді сулар көлемі: орташа - тәулігіне 2000 м³, ең жоғары - тәулігіне 5200 м³, тозу деңгейі – 18 %-ды құрап отыр. Кәріз желісінің жалпы ұзындығы - 1871 км, халықты қамту деңгейі – 30 %-ыз. Төгінді сулар жиналатын тоған ауданы 55 гектар, тереңдігі – 1,5 метрді құрайды. Ғылыми-зерттеу жұмыстары 100 м² құрайтын аумақта жүргізілді. Қазақстан-16,

Самур-68, Могар-КазНИИЗиР-80 малазықтық сұрыптары төгінді суларды қосымша тазарту арқылы суарылды.

Түйін сөздер: төгінді су, жаһандық жылыну, су тапшылығы, қосымша тазарту, малазықтық дақылдар

Дәйексөз үшін: Баймаханов Ө.С., Абдукадирова М.Н., Ақылбаев Қ.И., Шегенбаев А.Т., Олжабаева А.О. (2026). Қызылорда қаласы мысалында төгінді суларды ауылшаруашылығында пайдалануды ғылыми-технологиялық тұрғыдан зерттеу // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 136–146. <https://doi.org/10.37884/3-2026/11> [In Kaz.].

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

Алғыс айту: Ғылыми-зерттеу тобы, Қызылорда қаласы, Тасбөгет кентінде орналасқан Модульдік биологиялық тазарту станциясы қызметкерлеріне ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындауға көмек көрсеткендері үшін алғыс айтады.

**О.С. Баймаханов^{1*}, М.Н. Абдукадирова², Қ.И. Ақылбаев¹, А.Т. Шегенбаев³,
А.О. Олжабаева¹**

¹Қызылординский университет им.Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан;

²Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и мелиорации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан;

³Некоммерческое акционерное общество «Кызылординский филиал» Национальной гидрогеологической службы» «Казгидрогеология», Кызылорда, Казахстан.

E-mail: Orken.baimakhanov@mail.ru

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА КЫЗЫЛОРДЫ

Баймаханов Оркен Серикович, магистр сельскохозяйственных наук, докторант Кызылординского университета имени Коркыт Ата. Казахстан, 120014, Кызылординская область, Кызылорда, улица Айтеке би, 29а

E-mail: Orken.baimakhanov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8902-3737>;

Абдукадирова Малохат Норижановна, PhD, доцент кафедры «Экология и управление водными ресурсами», Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и мелиорации сельского хозяйства», Узбекистан, 100123, Ташкент, улица Кори Ниези, 39

E-mail: Mabduqodirova78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1188-2662>;

Ақылбаев Кайрат Игисинович, кандидат технических наук, старший преподаватель образовательной программы «Водное хозяйство и землеустройство» Кызылординского университета имени Коркыт Ата. Казахстан, 120014, Кызылординская область, Кызылорда, улица Айтеке би, 29а

E-mail: kgu.kairat@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9982-1257>;

Шегенбаев Абзал Тлеубергенович кандидат технических наук, и.о. профессора образовательной программы «Архитектура и строительное производство» Кызылординского университета имени Коркыт Ата. Казахстан, 120014, Кызылординская область, Кызылорда, улица Айтеке би, 29а

E-mail: abzal772001@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5910-2840>;

Олжабаева Аксауле Ондансыновна, PhD, старший преподаватель образовательной программы «Водное хозяйство и землеустройство» Кызылординского университета имени Коркыт Ата. Казахстан, 120014, Кызылординская область, Кызылорда, улица Айтеке би, 29а

E-mail: Seul379@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1377-7276>.

Аннотация. Кызылординская область считается одним из наиболее экологически уязвимых регионов Республики Казахстан. Проблемы, возникшие в результате высыхания Аральского моря, недостатка современных технологий очистки, а также увеличения антропогенной нагрузки, оказывают значительное негативное влияние на здоровье населения, экономику региона и сферу водных ресурсов. Развитие жилищно-коммунального хозяйства городов, а также агропромышленного комплекса и антропогенные нагрузки привели к накоплению огромных объёмов сточных вод. Это усиливает риск загрязнения окружающей среды вблизи городов и ещё больше обостряет и без того ухудшающуюся экологическую ситуацию. Учитывая эти негативные процессы, на примере города Кызылорда проводятся научно-исследовательские работы по утилизации сточных вод. Экспериментальные работы были выполнены на модульной станции биологической очистной (МСБО) в посёлке Тасбөгет города Кызылорда. Производительность МСБО составляет 6400 м³ в сутки, численность

обслуживаемого населения – 120,6 тыс. человек. Фактический объём сточных вод: в среднем – 2000 м³ в сутки, максимальный – 5200 м³ в сутки, уровень износа составляет 18 %. Общая протяжённость канализационной сети – 1871 км, уровень охвата населения – 30 %. Площадь пруда-накопителя сточных вод составляет 55 гектаров, глубина – 1,5 метра. Научно-исследовательские работы проводились на площади 100 м². Кормовые культуры Казахстан-16, Самур-68, Могар-КазНИИЗиР-80 орошались сточными водами, прошедшими дополнительную очистку.

Ключевые слова: сточные воды, глобальное потепление, нехватка воды, дополнительная очистка, кормовые культуры

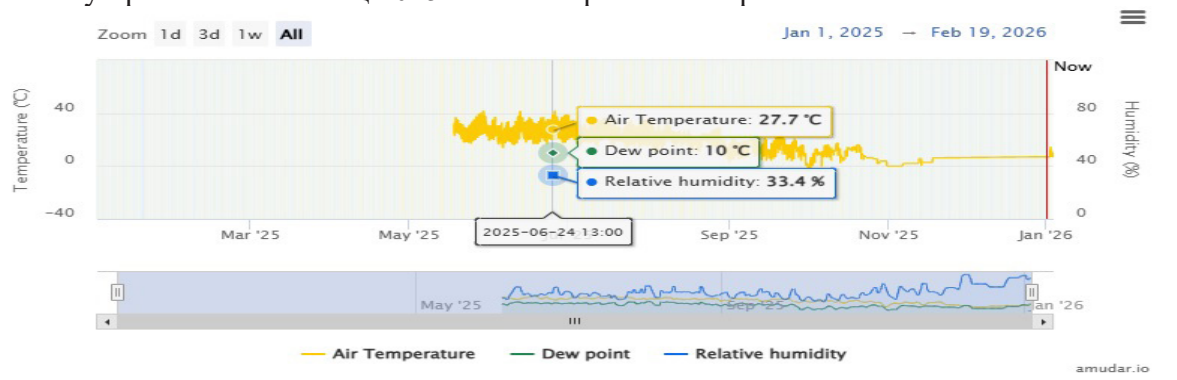
Для цитирования: Баймаханов О.С., Абдукадирова М.Н., Акылбаев К.И., Шегенбаев А.Т., Олжабаева А.О. (2026). Научно-технологическое исследование использования сточных вод в сельском хозяйстве на примере города Кызылорды // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 136–146. <https://doi.org/10.37884/3-2026/11> [In Kaz.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Кіріспе.

Жаһандық климаттың өзгеруі су ресурстарының тапшылығы мен қолжетімділігіне, азық-түлік қауіпсіздігіне және халық денсаулығына әлемдік деңгейде елеулі теріс әсерін тигізуде [Баймаханов et al., 2025]. Климаттың өзгеруін зерттейтін Біріккен ұлттар ұйымының (БҰҰ) мемлекетаралық эксперттер тобының пайымдауынша, тұрақты бақылау басталған 1850 жыл мен 2024 жылдар арасындағы ауа температурасы +1,60 C⁰-қа жылынғаны, ал соңғы 50 жылдағы жылыну процесі адамзаттың кесірінен орын алған деген тұжырым жасауда [Баймаханов et al., 2025]. Болжамдар бойынша, 2100 жылға қарай жаһандық орташа температура индустрияға дейінгі кезеңмен салыстырғанда 3,5°C-қа дейін көтерілуі мүмкін, ал өңірлік орташа температура ауытқулары 1,4–5,8° C аралығында болады деп күтілуде [Баймаханов et al., 2025]. Су тапшылығының күшеюі әлемдік қауымдастықтың әлеуметтік және экономикалық дамуына, олардың тұрақты қызмет етуіне айтарлықтай кері әсер етеді [María del Pilar Salazar-Vargas et al., 2026]. Сонымен қатар, климаттың өзгеруі жаһандық су тапшылығының ша-мамен 20 %-ға артуына себеп болуы ықтимал.

Төмендегі 1-суретте Қызылорда қаласында орналасқан «Метеостанция»-дан алынған ауа-райы мәліметінің 2025 жылғы көрсеткіші көрсетілген.



Сур. 1. Қызылорда қаласы жағдайында «Метеостанция»-дан алынған мәлімет. [Fig. 1. Meteorological Data Obtained from the Weather Station in Kyzylorda City]

1-суреттегі мәліметтерге сәйкес ең төменгі температура қаңтар айында орташа -3,2 C⁰, ал ең ыстық 30,3 C⁰ шілде айы болып тіркеліп отыр. Ауаның айлық жоғарғы температурасы 44,5°C, орташа айлық ауаның ылғалдылығы 56 %, желдің орташа айлық жылдамдығы 2,3 м/с, жауын шашынның орташа айлық көрсеткіші 126,8 мм-ді құрап отыр. Қазақстандық-Арал өңірінде созылмалы су тапшылығы [Manhong Wang et.all 2025] айрықша сезілгенімен ауылшаруашылығы дақылдарынан орнықты өнім алатын мүмкіншіліктер бар. Қызылорда қаласы мысалында алғаш рет төгінді суларды қосымша тазарту арқылы малазықтық дақылдарды суару мүмкіншіліктері ғылыми- технологиялық тұрғыдан зерттелуде [Nicoleta Ungureanu et.all 2020]. Докторант Ө.С.Баймахановтың [Perizat Bulanbayeva et.all 2025] зерттеу жұмысы 100 м² құрайтын тәжірибелік алаңда төгінді суларды қосымша тазарту арқылы малазықтық дақылдарды суару тұрғысында орындалуда.

Таңдалынып алынған малазықтық дақылдардың түрлері:

- 1) Қант құмайы, Қазақстан-16;
- 2) Қант құмайы, Самур-68,
- 3) Могар- КазНИИЗиР-80.

1) Қазақстан-16, Қант құмайы әмбебап дақыл. Қызылорда облысы секілді ауа-райы күртқұбылмалы, топырағы тұзды аймақтарда өсіп-өніп жоспарланған жоғары өнім беретінін ғылыми-зерттеу жұмыстары дәлелдеп отыр.



Сур. 2. Sorghum-Қант құмайы, Қазақстан-16.Тәжірибелік алаңдағы нақты көрінісі.
[Fig. 2. Sorghum (Sugar Sorghum), Kazakhstan-16 Cultivar: View of the Experimental Plot]

Қант құмайының жылуға қоятын талабы. Құмай [Rasheed A. Abdulraheem et.al 2024] дақылдың отаны экваторлы Африка елі. Қызылорда облысы жағдайында қант құмайының өсуі мен дамуына қажетті температура $+12 +18^{\circ}\text{C}$. Күндізгі температура $+22 +25^{\circ}\text{C}$, түнгі $+18^{\circ}\text{C}$ оңтайлы болып саналады. Әрбір топтарындағы белгілі тиімді температура жиынтығы әртүрлі $\sum t^{\circ} 2200+3200^{\circ}\text{C}$ -ты құрайды.

Ботаникалық сипаттамасы:

- Өсімдіктің толық піскендегі биіктігі шамасы 3,2–4,7 м-ді құрайды, сыртқы түрі жүгеріге ұқсас, тамыры дақылдың түрлеріне байланысты 50–80 см-ге дейін терең орналасады.
- Жапырақтарының ұзындығы орташа 60–80 см, жапырақ ені 5–8 см, сабағының көлемі 1,5-3 см, дәнінің саны орташа 1000-1500 дананы құрайды

Қант құмайының сипаттамасы және биологиялық ерекшеліктері

Қазіргі уақытта әлем елдерінде қант құмайын өсіру кең ауқымда белең алды [Ruidong Zhang et al., 2024]. Дақыл –астық тұқымдасына жататын бір немесе көпжылдық өсімдіктер тегі. Тұқымның өнімділігі – 2–3,5 т/га, сабақтары – 25-тен 45 т/га дейін, қант құрамы – 10–12 %, құрғақ заттар – 16–19 %, тазалығы – 75–79 %. Сорттардың өсу кезеңі – 120–135 күн, ол өсіру аймағына және өнім бағыттарына, себу мерзімдеріне байланысты. Нормасы – 25-тен 30 кг/га. Өнімділігі: жасыл массасы: 270–470 ц/га, шөп: 80–120 ц/га, дәні: 15–30 ц/га құрайды.

2) Самур-68, дәндік құмайдың жаңа гибриді, терең өңдеу кәсіпорындары тарапынан жоғары сұранысқа ие өте ірі ақ дәнімен ерекшеленеді [Yixian Chen et al., 2026]. Гибрид жоғары өнімділігімен және дән сапасының тұрақтылығымен сипатталады. Өсімдіктері бір сабақты, сыпыртқыларының орналасу биіктігі бойынша жақсы теңестірілген, бұл механикаландырылған жинауды жеңілдетеді. Сыпыртқысы жақсы сыртқа шыққан, борпылдақ құрылымды. Дәні өте ірі, ақ түсті, жоғары тауарлық және технологиялық сапа көрсеткіштеріне ие. Ресейдің оңтүстік федералдық округ жағдайында өнімділігі-65 ц/га жоғары. Себу мөлшері-1 гектарға 250000–300000 тұқымды құрайды. Төмендегі 1-кестеде, Самур-68 қант құмайы сабағының химиялық құрамы көрсетілген.

Кесте 1 – Самур-68 қант құмайы сабағының химиялық құрамы

Су,%	Сахароза, %	Басқа қанттар, %	Жасуның,%	Крахмал, %	Акуыз, %	Өсімдік шырыны, %	Пектинді заттар,(г/100гр)	Май (г/100гр)
65,8	11,25	2,75	7,32	5,15	2,6	3,31	0,6	0,02

1-ші кесте бойынша мынадай сипаттама келтіруге болады. Самур-68 қант құмайы сабағының химиялық құрамы оның тағамдық және өндірістік маңызы жоғары дақыл екенін көрсетеді. Құрамындағы су мөлшерінің жоғары болуы 65,8 % өсімдіктің шырынды екенін дәлелдейді. Сахарозаның 11,25 % болуы қант өндіруге қолайлы екенін көрсетсе, басқа қанттардың болуы жалпы көмірсу мөлшерін

арттырады. Жасуның 7,32 % пен крахмалдың 5,15 % болуы мал азығы және биоөнімдер өндіруде тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Ақуыз мөлшері орташа деңгейде 2,6 %, ал май мөлшері өте төмен 0,02 %. Сонымен қатар, пектинді заттардың болуы өсімдіктің технологиялық құндылығын арттырады. Жалпы алғанда, Самур-68 қант құмайы дақылды техникалық, малазықтық және қайта өңдеу өнеркәсібі үшін перспективалы шикізат болып табылады.

Қант құмайы, Самур-68 егу жұмыстары

Топырақ температурасы 12–15°C болғанда дақылды себу жұмыстарын бастау ұсынылады және кешіктірмеу маңызды, себүді 5-6 см тереңдікке жүргізу керек және қысқа мерзімде аяқтау қажет. Тұқымның көгеруін, қаракүйе ауруларын және тамыр шіріктерін болдырмау үшін тұқымды себу алдында дәрілеу міндетті агротехникалық негізгі шара болып табылады. Ол үшін дәрілеуіш препараттармен немесе биопрепараттармен өңдеу аса маңызды.



Сур. 3. «Самур-68» Тәжірибелік аландағы нақты көрінісі.
[Fig. 3. Experimental Plot of the 'Samur-68' Cultivar.]

3)Моғар, «КазНИИЗиР-80»-нің биологиялық ерекшелігі жергілікті жабайы өсетін популяциядан жеке іріктеу әдісі арқылы шығарылған. Сорт ерте піседі деп саналады, вегетациялық кезеңі 108–112 күн. Өсімдіктің биіктігі шамамен 136,3–146,0 см болып саналады. Түптенуі өте күшті 5–6 сабақ. Сабағының жуандығы 1,3–1,5 см. Жапырақтары ұзын 38,5 см, ені 5,2 см. Собығы тік өсетін симметриялы, түсі қою қоңыр, ұзындығы 30,0 см-ге дейін, ені 5,2 см. Дәнінің түсі қызғылт сары. «КазНИИЗиР-80» сорты моғарының өнімділігі: Жасыл массасы: 290–330 ц/га, Құрғақ массасы: 90–110 ц/га, Дәндері: 22–28 ц/га.

Аурулар мен климаттық жағдайларға төзімділік:

Аурулар мен зиянкестерге мүлде шалдықпайды;

Құстар зақымдамайды;

Өсімдігі жығылмайды, тұрақты.

Төмендегі 2-кестеде Моғар «КазНИИЗиР-80» сипаттамасы көрсетілген.

Кесте 2 – Моғар«КазНИИЗиР-80» сипаттамасы

Ерте пісетін топқа жатады	Ерте пісетін
Вегетациялық күндері	108–112
Өнімділігі, ц/га	290–330
Аудандастырылған облыстар	Батыс Қазақстан, Шығыс Қазақстан, Түркістан, Қызылорда

2-ші кесте бойынша мынадай сипаттама келтіруге болады. Самур-68 қант құмайы ерте пісетін дақылға жатады және вегетациялық кезеңі 108–112 күн аралығын құрайды. Бұл оның қысқа мерзімде пісіп-жетілетінін көрсетеді. Дақыл гектарына 290–330 ц өнім береді. Сонымен қатар, Самур-68 сорты Қазақстанның әртүрлі климаттық аймақтарында, атап айтқанда Батыс Қазақстан, Шығыс Қазақстан, Түркістан және Қызылорда облыстарында аудандастырылған. Бұл оның алуан түрлі табиғи-климаттық жағдайларға жақсы бейімделгенін және ауыл шаруашылығында тиімді пайдалануға болатын перспективалы дақыл екенін көрсетіп отыр.



Сур. 4. «Могар-КазНИИЗиР-80» Тәжірибелік алаңдағы нақты көрінісі.
[Fig. 4. Field View of the 'Mogar-KazNII ZiR-80' Cultivar in the Experimental Plot.]

Зерттеу нысаны

Ғылыми-зерттеу жұмыстары Қызылорда қаласы, Тасбөгет кенті, Модульдік биологиялық тазарту станциясының тәжірибелік аумағында, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары Білім министрлігінің Ғылым комитеті № BR21882415 «Қызылорда облысында су тапшылығы жағдайында мал азықтық дақылдары мен ағаш екпелерін суару үшін сарқынды суларды қауіпсіз утилизациялау технологиясын әзірлеу» жобасы аясында жүргізілді.

Нәтижелер және талқылаулар

Ғылыми-зерттеу жұмысы топырақ температурасы $+12^{\circ}\text{C}$, топырақ рН-7 құрағанда 07.05.2025 ж.ж. күні басталды және жер асты сулары деңгейі 1,5–2 м тереңдікте болды. Төгінді суларды мал азықтық дақылдарды суаруда пайдалану бойынша далалық тәжірибелер жүргізу үшін Қызылорда облысы жағдайына аудандастырылған Қазақстан-16, Самур-68, КазНИИЗиР-80 малазықтық дақылдар таңдалып алынды. Зерттеу жұмысының негізгі мақсаты Қызылорда өңірінің созылмалы су тапшылығы жағдайында төгінді суларды пайдалану, су тапшылығын ішінара өтеу мен малазықтық дақылдардың берік жем-шөп қорын қалыптастыру болды [Xiling Chang et al., 2024].

Зерттеу жұмыстары 100 м^2 аумақта орындалды. Ең алдымен жерді дайындау жұмыстары жүргізілді. Жерді дайындау, құрылыс қалдықтарынан тазарту, қопсырту, терең қопсыту, тырмалау, тегістеу сияқты жұмыстар дәстүрлі еңбек құралдарымен жүзеге асырылды. Төмендегі 5,6–суретте тәжірибе алаңын егіске дайындау жұмыстары көрсетілген.



Сур. 5,6. Тәжірибе алаңын дайындау жұмыстары.
[Fig. 5 and 6. Preparation of the Experimental Plot.]

1-ші тәжірибелік алаңның $37,5\text{ м}^2$ аумағына атызша жасалып Қант құмайының, Самур-68 сорты егілді. Тұқымды егудің тереңдігі 4-5 см, қатар аралығы 20 см-ді құрап маркермен сызылып дақылдар егілді. Дақыл егілген атызшаның ұзындығы 15 метр, ені 2,5 м құрады.

1-ші тәжірибелік алаңның 4-ші бөлігіне, $12,5\text{ м}^2$ аумаққа Қант құмайының, Қазақстан-16 сорты егілді. Тұқымды егудің тереңдігі 4,5–5,5 см, қатар аралығы 20 см-ді құрап маркермен сызылып дақылдар егілді. Дақыл егілген атызшаның ұзындығы 5 метр, ені 2,5 м құрады.

Тәжірибелік алаңның 2-ші бөлігінде 50 м² атызша жасалып Моғар- КазНИИЗиР-80 сорты егілді. Тұқымды егудің тереңдігі 2,5–3,5 см, қатар аралығы 10 см-ді құрап маркермен сызылып егілді. Дақыл егілген атызшаның ұзындығы 20 метр, ені 2,5 м құрады.

Кесте 3 – Малазықтық дақылдардың вегетациялық кезеңде су тұтыну көлемі м³.

№ р/с	Дақылдардың атауы	Суару саны	Суды тұтыну көлемі м ³
1	Қант құмайы, Самур-68	14	33,6 м ³
2	Қант құмайы, Қазақстан-16	14	11,2 м ³
3	Моғар- КазНИИЗиР-80	13	27,3 м ³

Алғаш рет нақты нысан жағдайында және Қызылорда қаласы мысалында малазықтық дақылдарды тазартылған төгінді сулармен суару бағытындағы ғылыми- зерттеу жұмыстары жүргізілді. Төмендегі 4-ші кестеде сонымен қатар 7,8,9-суретте тазартылған төгінді сулармен суарылған малазықтық дақылдарға жасалған фенологиялық бақылау жұмыстарының нақты мәндері көрсетілген.



Сур. 7,8,9. Фенологиялық бақылау жұмыстары.
[Fig. 7,8,9. Phenological Observations]

Кесте 4 – Фенологиялық бақылау жұмыстарының нақты мәндері.

№ р/с	Малазықтық дақылдардың атаулары, өлшем бірлік см					
	Өлшеу күні	Самур-68, см	Өлшеу күні	Қазақстан-16, см	Өлшеу күні	Моғар-КазНИИЗиР-80, см
1	12.05.25	1,0	13.05.25	1,2	12.05.25	0,7
2	15.05.25	3,5	15.05.25	2,1	15.05.25	3,7
3	20.05.25	7,9	20.05.25	6,3	20.05.25	8,1
4	24.05.25	10,1	24.05.25	9,2	24.05.25	10,3
5	31.05.25	27,6	31.05.25	20,4	31.05.25	29,1
6	03.06.25	34,7	03.06.25	33,3	03.06.25	35,4
7	10.06.25	56,3	10.06.25	51,9	10.06.25	60,2
8	15.06.25	80,5	15.06.25	60,5	15.06.25	83,4
9	20.06.25	113,2	20.06.25	89,1	20.06.25	89,1
10	25.06.25	121,9	25.06.25	106,9	25.06.25	94,2
11	30.06.25	133,1	30.06.25	143,6	30.06.25	97,6
12	05.07.25	143,6	05.07.25	196,2	05.07.25	106,1
13	11.07.25	151,2	11.07.25	234,6	11.07.25	112,4
14	15.07.25	154,6	15.07.25	241,7	15.07.25	119,6
15	20.07.25	156,3	20.07.25	544,8	20.07.25	128,3
16	25.07.25	159,5	25.07.25	251,6	25.07.25	137,2
17	30.07.25	161,1	30.07.25	257,1	30.07.25	146,4
18	05.08.25	165,2	05.08.25	261,4	05.08.25	153,1
19	10.08.25	171,3	10.08.25	272,3	10.08.25	161,7
20	15.08.25	173,6	15.08.25	280,2	15.08.25	164,1
21	20.08.25	174,1	20.08.25	284,6	20.08.25	166,2
22	25.08.25	175,9	25.08.25	289,1	25.08.25	169,8
23	30.08.25	178,1	30.08.25	300,3	30.08.25	170,1

Ғылыми-зерттеу жұмысының негізгі мақсаты Қазақстандық-Арал өңіріндегі созылмалы су тапшылығы жағдайында қалалық төгінді суларды қосымша тазарту арқылы малазықтық дақылдарды суару. Ғылыми-зерттеу жұмыстары оң нәтиже берсе Қызылорда қаласы мысалында берік жем-шөп қорын қалыптастыруға мүмкіншіліктер пайда болады.

Сонымен қатар төгінді лас суларды қосымша тазарту арқылы ауылшаруашылығында пайдалану су тапшылығы айқын сезіліп отырған Қызылорда облысының ауылшаруашылығы бағыты үшін оң серпін беретіні сөзсіз. Төмендегі 5-кестеде зертханалық жағдайларда анықталған төгінді судың мәліметтері көрсетілген. Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университетінің, «Физика-химиялық талдау әдістері» Инженерлік бейіндегі зертханасында төгінді суды белсендірілген көмірмен тазартқанға дейін және тазартқаннан кейінгі нақты мәндері көрсетілген.

Кесте 5 – Белсендірілген көмірмен төгінді суды тазартуға дейін және белсендірілген көмірмен тазартқаннан кейінгі зерттеу нәтижелері.

Атауы	Нақты мәндері	
	Суды тазартуға дейін	Белсендірілген көмірмен тазартқаннан кейін
Түсі, градус	600	510
Сутегі көрсеткіші (рН), бірлік	8,05	7,65
Жалпы қаттылық, °Ж мг-экв/дм ³	8,1	7,8
Сілтілік, ммоль/дм ³	11,2	10,6
Аммоний (азот бойынша), мг/дм ³	20,9	19,9
Кальций, мг/дм ³	60	6
Магний, мг/дм ³	62,4	32,4
Жалпы темір, мг/дм ³	2,3	1,4
Мыс, мг/дм ³	0,9	0,6
Алюминий, мг/дм ³	48,7	32,3
Сульфаттар, мг/дм ³	0,27	0,20
Хлоридтер, мг/дм ³	45	10,8
Нитраттар, мг/дм ³	0,33	0,31
Нитриттер, мг/дм ³	0,146	0,143
Карбонаттар, мг/дм ³	48	36
Гидрокарбонаттар, мг/дм ³	524,6	512,4
Полифосфаттар, мг/дм ³	0,164	0,106
Ортофосфаттар	8,1	4,4
Марганец, мг/дм ³	жоқ	жоқ
Жалпы минералдану (күрғаққалдық), мг/дм ³	2,04	1,61

Белсендірілген көмірмен төгінді суды тазартқаннан кейін оның сапа көрсеткіштерінде өзгерістер байқалды. Судың түсі 600 градустан 510 градусқа дейін төмендеді, ал сутегі көрсеткіші (рН) 8,05-тен 7,65-ке азайды. Жалпы қаттылық 8,1-ден 7,8 °Ж мг-экв/дм³-ке, сілтілік 11,2-ден 10,6 ммоль/дм³-ке төмендеді. Аммоний мөлшері 20,9-дан 19,9 мг/дм³-ке азайды. Кальций концентрациясы 60 мг/дм³-тен 6 мг/дм³-ке дейін күрт төмендесе, магний мөлшері 62,4-тен 32,4 мг/дм³-ке дейін азайды. Жалпы темірдің мөлшері 2,3-тен 1,4 мг/дм³-ке, мыс 0,9-дан 0,6 мг/дм³-ке, алюминий 48,7-ден 32,3 мг/дм³-ке төмендеді. Сонымен қатар, сульфаттар мөлшері 0,27-ден 0,20 мг/дм³-ке, хлоридтер 45-тен 10,8 мг/дм³-ке дейін азайды. Нитраттар мен нитриттердің мөлшерінде аздаған ғана өзгеріс байқалды. Карбонаттар 48-ден 36 мг/дм³-ке, гидрокарбонаттар 524,6-дан 512,4 мг/дм³-ке төмендеді. Полифосфаттар мөлшері 0,164-тен 0,106 мг/дм³-ке, ал ортофосфаттар 8,1-ден 4,4 мг/дм³-ке дейін азайды. Марганец екі жағдайда да анықталған жоқ. Жалпы минералдану көрсеткіші 2,04-тен 1,61 мг/дм³-ке төмендеп, белсендірілген көмірдің суды тазартуда тиімді әсер еткенін нақты көрсетіп отыр.

Қорытынды.

Қызылорда қаласы мысалында алғаш рет нақты нысан жағдайында малазықтық дақылдарды суару мүмкіншіліктері ғылыми-технологиялық тұрғыдан зерттелді. 6-кестеде АҚ «Ұлттық сараптау және сертификаттау» Қызылорда филиалының зертханасында 03.10.2025 жылы № 801, № 804, № 805 хаттамасымен жүргізілген малазықтық дақылдардың құрамының нақты мәндері көрсетілген.

Кесте 6 – Малазықтық дақылдардың зертханалық нәтижелері.

Көрсеткіш атаулары	Белгілеу сынақ әдісімен нормативтік құжаттар	Могар- КазНИИЗиР-80	Қазақстан-16	Самур-68
1	2	3	4	5
Азоттың массалық үлесі, %	ГОСТ 13496.4-2019	4,6	3,1	1,4
Шикі ақуыздың масса- лық үлесі, %	ГОСТ 13496.4-2019	28,7	19,3	8,75
Фосфордың массалық үлесі, %	ГОСТ 26657-97	0,312	0,324	0,298
Кальцийдің массалық үлесі, %	ГОСТ 26570-95	0,30	0,28	0,25
Калийдің массалық үлесі, %	ГОСТ 30504-97	3,2	3,2	3,1
Каротиннің массалық үлесі, мг/кг	ГОСТ 13496.17-2019	29,65	27,14	23,32
Шикі талшықтың масса- лық үлесі	ГОСТ 13496.2-91	22,3	23,7	23,8

Тазартылған төгінді сулармен суарылған малазықтық дақылдардың құрамында айтарлықтай ауытқулар жоқ екендігі зертханалық нәтижелермен анықталды. Қызылорда қаласы мысалында төгінді суларды қосымша тазарту арқылы малазықтық дақылдарды суаруға болады деген тұжырым жасауға болады. Малазықтық дақылдардың суару нормасы гектарына 5000 м³ болған жағдайда, Қызылорда қаласы жағдайында жылына 160 га малазықтық дақылдарын егіп орнықты өнім алуға мүмкіншіліктер бар.

REFERENCES

- Bajmakhanov, O., Umirzakov, S., Begaliev K., Baimanov Zh., Akyibaev K., Shegenbaev A., Musirep A. (2025). Kazakstandyk-Aral onirinin ar turli agroekologiyalyk zhagdailarinda taza zhane togindi sularmen kant kumayi dakylын suarudyn tiimdi tekhnologiyasyn zertteu // Izdenister, Natizheler, 2025. (1 (105). Pp. 255–268. <https://doi.org/10.37884/1-2025/30>; [in Kazakh]
- Bajmakhanov O., Umirzakov S., M.N. Abdukodirova, K.I. Akyibaev, Shegenbaev A.T., Daldabaeva G.T., Bulanbaeva P.U. (2025). Togindi sulardyn zher asty sularyna zhane malazyqytq daqyldardyn quramyna aseri // Izdenister, natizheler, 2025. – №2 (106), <https://doi.org/10.37884/2-2025/45>; [in Kazakh]
- Bajmakhanov O.S., Omirzakov S.I., Akyibaev K.I., Daldabaeva G.T., Shegenbaev A.T., Shalabaeva G.A. (2025). Kyzylorda kalasy mysalynda togindi sulardy agash ekpeleri men malazyktyk dakylardy suaru ushin gylymi demonstratsiyalyk alandy daiyndau men su sapasyn bagalau. Korkyt Ata atyndagy KU Khabarshysy. 2025. № 3–1 (74). Pp. 81–93. <https://doi.org/10.52081/bkaku.2025.v74.i3-1.317> ; [in Kazakh]
- María del Pilar Salazar-Vargas, Yosune Miquel ajauregui, Hilda Guerrero-Garcia-Rojas (2026). Unveiling the Evolution of Adaptation Economics // A Systematic and Bibliometric Review of Collaborations, Methodologies, and Research Frontiers 2010–2023, MDPI Climate, 2026. 14. 68, <https://doi.org/10.3390/cli14030068>;
- Manhong Wang, Irshad Ahmad, Bin Qin, Lei Chen (2025). Identification and Comprehensive Evaluation of Drought Tolerance in Sorghum During Germination and Seedling Stages, Plants 2025, 14. 1793, <https://doi.org/10.3390/plants14121793>;
- Nicoleta Ungureanu, Valentin Vlăduț, Gheorghe Voicu (2020). Water Scarcity and Wastewater Reuse in Crop Irrigation, MDPI Sustainability 2020, 12, 9055, doi:10.3390/su12219055;
- Perizat Bulanbayeva, Asylkhan Shomantayev, Orken Baimakhanov (2025). Optimization and evaluation of wastewater and groundwater blending for irrigation in Arid Regions of Kazakhstan // Eurasian Journal of Soil Science. Volume 14. Issue 4, Oct 2025, Pages 359-375, DOI: 10.18393/ejss.1753346;
- Rasheed A. Abdulaheem, Ralph N. Martins, Prashant Bharadwaj, Zhaoyu Li, Ranil Coorey (2024). Nutrients and polyphenols-rich Sorghum bicolor genotypes as complementary therapy for Alzheimer’s disease // Phytochem Rev (2024) 23:1889–1912, <https://doi.org/10.1007/s11101-024-09942-y>;
- Ruidong Zhang, Jiarong Chang, Haiyun Chen, Jiaqi Li, Kun Huang (2024). Transcriptomic Insights into Drought Survival Strategy of Sorghum bicolor (L.) Moench during Early Growth under Polyethylene Glycol-Simulated Conditions // Agronomy 2024, 14, 2364. <https://doi.org/10.3390/agronomy14102364>;
- Yixian Chen, Sofie De Geeter, Jean Poesen (2026). Global patterns of gully occurrence and their sensitivity to environmental changes // International Soil and Water Conservation Research 14 (2026) 100572, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2025.09.004>;
- Xiling Chang, Shuangxing Zhang, Changyu Cao, Jianfei Zhou (2024). Transcriptome analysis and characteristics of drought resistance related genes in four varieties of foxtail millet [Setaria italica], Heliyon 10 (2024) e38083, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38083>.

Baymakhanov Orken Serikuly – provided overall supervision of the manuscript preparation; wrote the initial draft of the article; and performed editing and formatting of the manuscript.

Akyllbayev Kairat Igisinuly – collected field data during the research; made a significant contribution to the development of the Introduction and Research Site sections; and participated in the analysis and scientific interpretation of the research results.

Shengenbayev Abzal Tleubergenuly – collected field data during the research; made a significant contribution to the development of the Introduction and Research Site sections; and participated in the analysis and scientific interpretation of the research results.

Abdukadirova Malokhat Norijankizi – conducted a review of international scientific publications; and participated in the analysis and scientific interpretation of the research results.

Oljabayeva Aksaule Ondasynkyzy – provided financial support for the study; and participated in the analysis and scientific interpretation of the research results.



N.B. Zhumabay^{1,2}, A.S. Yegizbayeva¹, K.V. Konstantinova¹, N.E. Bekmukhamedov¹*

¹National Center of Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nbzhumabai@gmail.com

IMPACT OF SNOW COVER ON WATER AVAILABILITY DURING THE GROWING SEASON (CASE STUDY OF THE KURAGATY SUB-BASIN)

Nurdaulet Zhumabay, Lead Engineer of the Laboratory «Space Monitoring of Agricultural Production», JSC «National Center of Space Research and Technology». 15, Shevchenko St., Almaty, 050010, Kazakhstan, PhD student, Department of Geoinformatics and Cartography, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Al-Farabi Kazakh National University. 71, Al-Farabi Avenue, Almaty 050040, Kazakhstan
E-mail: nbzhumabai@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-2476-6526>;

Asset Yegizbayeva, Lead Researcher of the Laboratory «Space Monitoring of Agricultural Production», JSC «National Center of Space Research and Technology». 15, Shevchenko St., Almaty, 050010, Kazakhstan
E-mail: asset@spaceres.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2114-8365>;

Kristina Konstantinova, Senior Researcher of the Laboratory «Space Monitoring of Agricultural Production», JSC «National Center of Space Research and Technology». 15, Shevchenko St., Almaty, 050010, Kazakhstan
E-mail: k.konstantinova@spaceres.kz, <https://orcid.org/0009-0004-0212-5656>;

Nurlan Bekmukhamedov, Head of the Remote Sensing Department, JSC «National Center of Space Research and Technology». 15, Shevchenko St., Almaty, 050010, Kazakhstan
E-mail: nurlan1964@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3157-7705>.

Abstract. Water scarcity during the growing season remains a major constraint for irrigated agriculture in Central Asia, particularly in transboundary river basins where water availability depends on mountain snow accumulation and melt processes. This study aims to assess how seasonal snow dynamics influence water availability in the Kuragaty sub-basin of the Shu river basin, with focus on downstream agricultural areas located in Kazakhstan and Kyrgyz Republic. Snow cover dynamics were derived from Sentinel-2 satellite imagery for elevations above 1000 m over the period from November to May (2018–2025), using a threshold-based snow detection approach. Evapotranspiration over agricultural lands was estimated from Landsat data using an energy balance model, while river discharge data from hydrometric stations were used to characterize the hydrological response. The results show a stable seasonal pattern of snow cover, with maximum extent observed in winter (December-February), where mean values exceed 55 % and reach $59 \pm 11.7\%$ in December. In spring, snow cover rapidly decreases to $27.6 \pm 12.7\%$ in April and below 10 % in May. The spring snow index (March-April) averages $37 \pm 8.2\%$, reflecting strong interannual variability. Evapotranspiration follows a consistent seasonal cycle, increasing to 2.1 ± 0.6 mm/day in May and reaching peak values of up to 7.4 ± 1.2 mm/day in June. The total evapotranspiration during the growing season (May-September), averages 214.4 ± 24.2 mm. River discharge during this period shows moderate variability, with mean values of 4.26 ± 1.34 m³/s and peak flows occurring in early summer. A consistent positive relationship was observed between late-winter to early-spring snow cover and evapotranspiration during May-June, indicating that snowmelt contributes to water supply at the onset of the irrigation period. At the same time, evapotranspiration patterns are also influenced by vegetation development and increasing atmospheric demand, suggesting that snow dynamics act as an initial, but not the only, controlling factor. Overall, the findings highlight the importance of mountain snow cover for sustaining water resources in the northern part of the basin and provide a practical basis for improving irrigation planning under conditions of interannual variability.

Keywords: Remote Sensing, Snow Cover, Evapotranspiration, Shu River Basin, METRIC model, Irrigation, Water availability

For citation: Zhumabay N.B., Yegizbayeva A.S., Konstantinova K.V., Bektukhamedov N.E. (2026). Impact of Snow Cover on Water Availability During the Growing Season (Case Study of the Kuragaty Sub-Basin) // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 147–159. <https://doi.org/10.37884/3-2026/12> [in Eng.].

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

Funding: This research was funded by a grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for scientific and/or scientific-technical projects (grant No. AP26104801).

Н.Б. Жумабай^{1,2*}, А.С. Егізбаева¹, К.В. Константинова¹, Н.Э. Бекмухамедов¹

¹Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы, Алматы, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail. nbzhumabai@gmail.com

СУАРУ КЕЗЕҢІНДЕ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ҚОЛЖЕТІЛІМДІЛІГІНЕ МАУСЫМДЫҚ ҚАР ЖАМЫЛҒЫСЫ ДИНАМИКАСЫНЫҢ ӘСЕРІ (ҚҰРАҒАТЫ СУБ-БАССЕЙНІ МЫСАЛЫНДА)

Нұрдаулет Жумабай, «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар» АҚ, «Ауыл шаруашылығы өндірісін ғарыштық мониторингтеу зертханасының» жетекші инженері, Қазақстан, 050010, Алматы, Шевченко көш.,15. Геоинформатика және картография кафедрасының PhD докторанты, География және табиғатты пайдалану факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, 050040, Алматы, Әл-Фараби даң., 71

E-mail: nbzhumabai@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-2476-6526>;

Әсет Егізбаева, «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар» АҚ, «Ауыл шаруашылығы өндірісін ғарыштық мониторингтеу зертханасының» жетекші ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050010, Алматы, Шевченко көш.,15

E-mail: asset@spaceres.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2114-8365>;

Кристина Константинова, «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар» АҚ, «Ауыл шаруашылығы өндірісін ғарыштық мониторингтеу зертханасының» аға ғылыми қызметкері, Қазақстан, 050010, Алматы, Шевченко көш.,15

E-mail: k.konstantinova@spaceres.kz, <https://orcid.org/0009-0004-0212-5656>;

Нурлан Бекмухамедов, «Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар» АҚ, «Жерді қашықтықтан зондтау» департаменті директоры», Қазақстан, 050010, Алматы, Шевченко көш.,15

E-mail: nurlan1964@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3157-7705>.

Аннотация. Орталық Азияда вегетациялық кезеңдегі су тапшылығы суармалы ауыл шаруашылығы үшін негізгі шектеуші факторларының бірі болып қала береді, әсіресе су ресурстарының қолжетімділігі таулы аймақтардағы қардың жиналуы мен еру үрдістеріне тәуелді трансшекаралық өзен алқаптарында байқалады. Бұл зерттеу Шу бассейнінің Құрағаты суб-бассейнінде маусымдық қар жамылғысы динамикасының су ресурстарының қолжетімділігіне әсерін бағалауға бағытталған. Қазақстан мен Қырғыз республикасы аумағында орналасқан төменгі ағыс бөлігіндегі ауыл шаруашылығы жерлеріне ерекше назар аудара отырып, қар жамылғысының динамикасы 2018–2025 жылдар аралығында қараша-мамыр кезеңінде теңіз деңгейінен 1000 мден жоғары аумақтар үшін Sentinel-2 спутниктік деректері негізінде, шекті мәндерге негізделген қарды анықтау әдісін қолдану арқылы анықталды. Ауыл шаруашылығы алқаптарындағы эвапотранспирация Landsat деректері негізінде энергия теңгерімі моделін пайдалану арқылы бағаланды, ал гидрометриялық станциялардағы өзен ағынының деректері гидрологиялық жауапты сипаттау үшін қолданылды. Нәтижелер қар жамылғысының маусымдық тұрақты заңдылығын көрсетті, оның ең жоғары мәндері қыс мезгілінде (желтоқсан-ақпан) байқалады, мұнда орташа көрсеткіштер 55 %-дан асып, желтоқсан айында 59 ± 11.7 %-ға жетеді. Көктемде қар жамылғысы жылдам азайып, сәуір айында 27.6 ± 12.7 %-ға дейін төмендейді және мамыр айында 10 %-дан төмен болады. Көктемгі қар индексі (наурыз-сәуір) орта есеппен 37 ± 8.2 % құрап, жылдар арасындағы өзгергіштіктің жоғары деңгейін көрсетеді. Эвапотранспирация

айқын маусымдық цикл бойынша өзгеріп, мамыр айында 2.1 ± 0.6 мм/тәулікке дейін артады және маусым айында 7.4 ± 1.2 мм/тәулікке дейінгі ең жоғары мәндерге жетеді. Вегетациялық кезеңдегі (мамыр-қыркүйек) жиынтық эвапотранспирация орта есеппен 214.4 ± 24.2 мм құрайды. Осы кезеңдегі өзен ағыны орташа өзгергіштікпен сипатталып, орташа мәне 4.26 ± 1.34 м³/с құрайды, ал ең жоғарғы ағындар жаздың басында байқалады. Қыстың соңы мен көктемнің басындағы қар жамылғысы мен мамыр-маусым айларындағы эвапотранспирация арасында тұрақты оң байланыс анықталды, бұл қар еруі суару кезеңінің басталуына су ресурстарының қалыптасуына үлес қосатынын көрсетеді. Сонымен қатар, эвапотранспирацияның өзгерісі өсімдік жамылғысының дамуы мен атмосфералық сұраныстың артуына да тәуелді, бұл қар динамикасының бастапқы, бірақ жалғыз анықтаушы фактор емес екенін көрсетеді. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер алаптың солтүстік бөлігіндегі су ресурстарын тұрақты қамтамасыз етуде таулы аймақтардағы қар жамылғысының маңыздылығын айқындайды және жылдар арасындағы өзгергіштік жағдайында суаруды жоспарлауын жетілдіру үшін практикалық негіз ұсынады.

Түйін сөздер: жерді қашықтан зерделеу, қар жамылғысы, эвапотранспирация, Шу бассейні, METRIC моделі, суару, су ресурстарының қолжетімділігі

Дәйексөз үшін: Жумабай Н.Б., Егизбаева А.С., Константинова К.В., Бекмухамедов Н.Э. (2026). Суару кезеңінде су ресурстарының қолжетімділігіне маусымдық қар жамылғысы динамикасының әсері (Құрағаты суб-бассейні мысалында). // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 147–159. <https://doi.org/10.37884/3-2026/12> [In Eng.]

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

Қаржыландыру. Бұл зерттеу ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобаларды қаржыландыруға арналған гранты (№ AP26104801) есебінен қаржыландырылды

Н.Б. Жумабай^{1,2*}, А.С. Егизбаева¹, К.В. Константинова¹, Н.Э. Бекмухамедов¹

¹Национальный центр космических исследований и технологий, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

E-mail. nbzhumabai@gmail.com

ВЛИЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТЬ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА (НА ПРИМЕРЕ СУБ-БАССЕЙНА КУРАГАТЫ)

Нурдаулет Жумабай, ведущий инженер лаборатории «Космического мониторинга сельскохозяйственного производства», АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Шевченко,15

E-mail: nbzhumabai@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-2476-6526>;

Асет Егизбаева, ведущий научный сотрудник лаборатории «Космического мониторинга сельскохозяйственного производства», АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Шевченко,15

E-mail: asset@spaceres.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2114-8365>;

Кристина Константинова, старший научный сотрудник лаборатории «Космического мониторинга сельскохозяйственного производства», АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Шевченко,15

E-mail: k.konstantinova@spaceres.kz, <https://orcid.org/0009-0004-0212-5656>;

Нурлан Бекмухамедов, директор департамента «Дистанционного зондирования Земли», АО «Национальный центр космических исследований и технологий», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Шевченко,15;

E-mail: nurlan1964@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3157-7705>.

Аннотация. Дефицит воды в вегетационный период остаётся одним из основных ограничивающих факторов для орошаемого сельского хозяйства в Центральной Азии, особенно в трансграничных речных бассейнах, где водообеспеченность зависит от накопления и таяния снежного покрова в горных районах. Целью данного исследования является оценка влияния сезонной динамики снежного покрова на водообеспеченность в суб-бассейне Курагаты бассейна реки Шу с акцентом

на сельскохозяйственные территории нижнего течения, расположенные в Казахстане и Кыргызской Республике. Динамика снежного покрова была определена по спутниковым данным Sentinel-2 для территорий выше 1000 м над уровнем моря за период с ноября по май (2018–2025 гг.) с использованием порогового метода выделения снега. Эвапотранспирация на сельскохозяйственных землях оценивалась по данным Landsat с применением модели энергетического баланса, в то время как данные о речном стоке с гидрометрических станций использовались для характеристики гидрологического отклика. Результаты показывают устойчивый сезонный характер изменения снежного покрова, при этом максимальное значение наблюдается зимой (декабрь–февраль), где средние значения превышают 55 % и достигают 59 ± 11.7 % в декабре. Весной снежный покров быстро уменьшается до 27.6 ± 12.7 % в апреле и ниже 10 % в мае. Весенний снежный индекс (март–апрель) в среднем составляет 37 ± 8.2 % отражая значительную межгодовую изменчивость. Эвапотранспирация следует выраженному сезонному циклу, увеличиваясь до 2.1 ± 0.6 мм/сут в мае и достигая пиковых значений до 7.4 ± 1.2 мм/сут в июне. Суммарная эвапотранспирация за вегетационный период (май–сентябрь) в среднем составляет 214.4 ± 24.2 мм. Речной сток в этот период характеризуется умеренной изменчивостью, со средними значениями 4.26 ± 1.34 м³/с и пиковыми расходами в начале лета. Выявлена устойчивая положительная связь между снежным покровом в конце зимы – начале весны и эвапотранспирацией в мае–июне, что свидетельствует о вкладе талых вод в формирование водных ресурсов в начале периода орошения. В то же время характер эвапотранспирации определяется также развитием растительности и ростом атмосферного спроса, что указывает на то, что динамика снежного покрова является начальным, но не единственным определяющим фактором. В целом полученные результаты подчёркивают важную роль горного снежного покрова в обеспечении водных ресурсов в северной части бассейна и формируют практическую основу для совершенствования планирования орошения в условиях межгодовой изменчивости.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, снежный покров, эвапотранспирация, бассейн реки Шу, модель METRIC, орошение, водообеспеченность

Для цитирования: Жумабай Н.Б., Егизбаева А.С., Константинова К.В., Бекмухамедов Н.Э. (2026). Влияние снежного покрова на водообеспеченность в течение вегетационного периода (на при-мере суб-бассейна Курагаты) // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 147–159. <https://doi.org/10.37884/3-2026/12> [In Eng.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность: Данное исследование было профинансировано за счет гранта Министерства науки и высшего образования РК на научные и (или) научно-технические проекты (№ AP26104801)

Introduction.

Over the past two decades, remote sensing has become a standard tool for monitoring key components of the water cycle, including snow cover and evapotranspiration (ET), at regional and basin scales (Hao et al., 2023; Zhang et al., 2025). The increasing availability of satellite data has significantly improved the understanding of spatial and temporal variability of hydrological processes, particularly in regions with limited ground observations such as Central Asia. In mountain environments, seasonal snow cover plays a fundamental role in regulating water availability, acting as a temporary storage that controls the timing and magnitude of runoff formation. The contribution of snowmelt to river discharge is especially critical in arid and semi-arid regions, where downstream agricultural systems rely heavily on meltwater during the early growing season. At the same time, ET represents one of the main pathways of water consumption in irrigated landscapes and reflects the combined influence of climatic conditions, vegetation development, and water management practices (Hao et al., 2023).

The Shu River Basin represents one of the key transboundary water systems in Central Asia, shared between Kazakhstan and Kyrgyzstan (Linke et al., 2019; Adenova et al., 2025). Its hydrological regime is largely controlled by processes occurring in the northern Tien Shan, where snow accumulation during winter and subsequent melt in spring govern the seasonal redistribution of water (Narbayeva et al., 2025). Although the basin itself is not among the largest in the region, its role in supporting irrigated agriculture is disproportionately in the southern districts of Kazakhstan (Adenova et al., 2024) Central Asia (CA). Climatic conditions across the basin are predominantly arid to semi-arid. Annual precipitation is unevenly distributed and generally insufficient to sustain crop production without irrigation. As a result, agriculture relies heavily on externally supplied water, much of which originates from mountainous headwaters. In Kazakhstan, irrigated farming accounts for a substantial share of water withdrawals, and this dependence is especially pronounced in river

systems such as the Shu, where natural runoff is strongly seasonal. What makes the situation more complex is the mismatch between water availability and agricultural demand. Peak river discharge typically occurs in late spring or early summer, whereas irrigation demand extends throughout the growing season. This temporal imbalance requires careful regulation and often leads to competition for water resources, particularly under conditions of reduced snow accumulation or altered melt timing.

In the context of Central Asia, several studies have emphasized the strong dependence of hydrological regimes on chrysospheric processes, including snow accumulation and melt dynamics. These processes are particularly important for transboundary river basins, where upstream conditions directly affect downstream water availability and allocation. However, most existing studies tend to address either snow processes in mountainous regions or ET in agricultural areas, often within separate analytical frameworks. As a result, the linkage between upstream snow dynamics and downstream water consumption remains insufficiently quantified, especially at the sub-basin scale (Gascoin et al., 2020). This gap is particularly relevant for relatively small and heterogeneous catchments such as the Kuragaty sub-basin, where local topographic and climatic variability can lead to significant deviations from broader regional patterns (Kaliyeva et al., 2021).

In mountain-fed river systems, seasonal snow cover functions as a temporary water reservoir. During winter, precipitation is stored in solid form at higher elevations, and its gradual release during spring plays a critical role in sustaining downstream flows (Koshim et al., 2026). In the Shu Basin, snowmelt contributes a major portion of annual runoff, especially in tributaries originating from elevations above 1000 m (Safina, 2023). The timing of snowmelt is as important as its magnitude. Early melting can shift peak flows forward, reducing water availability during the later stages of the growing season. Conversely, delayed melt may support more stable discharge into early summer. These dynamics directly affect irrigation scheduling, reservoir operation, and overall water allocation strategies. Recent observations across Central Asia indicate that snow is becoming increasingly variable, both in extent and duration. Warmer winters, changes in precipitation phase, and earlier onset of melt have been reported in several parts of the Tien Shan. Although the magnitude of these changes varies locally, the general tendency suggests a gradual reduction in the reliability of snow-derived water resources. For regions such as the Kuragaty basin, where agricultural productivity depends on predictable water supply, even moderate shifts in snow dynamics can have noticeable consequences. Understanding these relationships at a basin scale remains an important but still insufficiently explored task.

The present study aims to explore the relationship between snow cover dynamics and water availability during the growing season in the Kuragaty sub-basin. Unlike many previous assessments, the analysis combines high-resolution snow mapping with field-scale ET estimates and in-situ hydrological observations. The specific objectives are as follows:

1. to quantify spatial and temporal variability of snow cover above 1000 m using Sentinel-2 data for the period 2018-2025;
2. to estimate actual ET in irrigated areas using the METRIC model based on Landsat imagery;
3. to evaluate the statistical relationship between snow cover extent and ET during the growing season;
4. to assess the implications of these relationships for water management in a transboundary context.

The practical relevance of this work lies in its potential support more informed decision-making in irrigation planning and water allocation. By linking mountain snow conditions with downstream water use, the study provides a clearer picture of how natural and managed components of the hydrological cycle interact. This is particularly important in the context of increasing climate variability, where traditional assumptions about water availability may no longer hold.

Materials and methods.

Study Area

The study area focuses on the Kuragaty sub-basin, located in the southern part of Kazakhstan within the Shu river basin. The basin originates on the northern slopes of the Kyrgyz Alatau, forming a typical mountain-plain system where hydrological processes are strongly controlled by elevation. The total catchment area is approximately 9 600 km², with majority situated within Kazakhstan and a smaller portion extending into Kyrgyzstan (Safina, 2023)(figure 1).

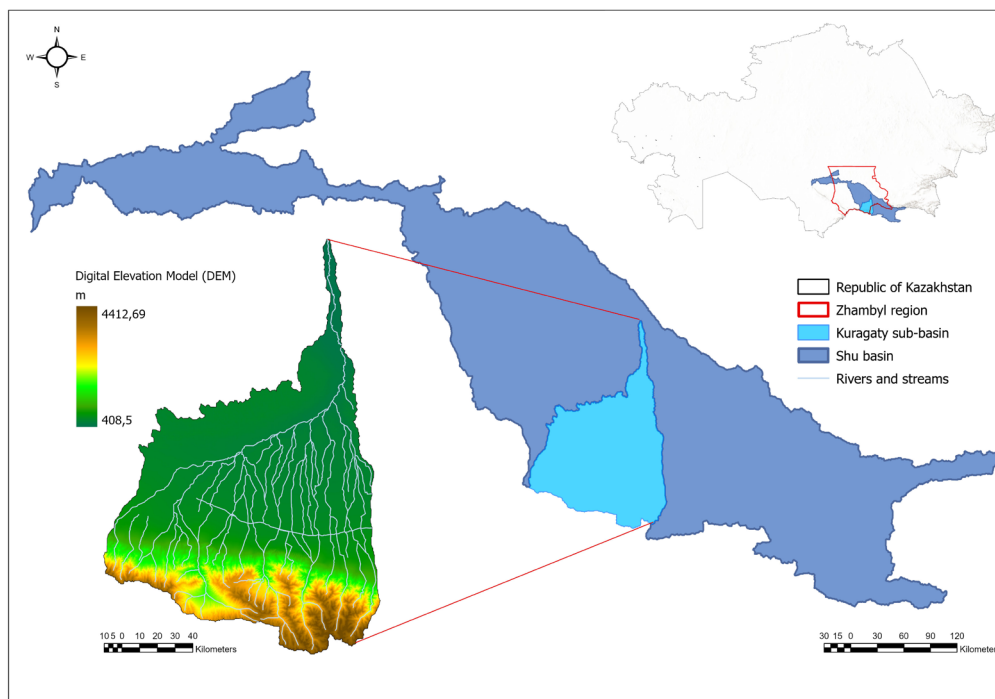


Fig. 1. Location of Kuragaty Sub-basin

Elevation ranges from below 400 m in the downstream plains to over 4 500 m in the mountainous headwaters. This pronounced gradient results in distinct climatic and hydrological zones. Snow accumulation occurs primarily in areas above 1 000 m, where winter temperatures remain consistently below freezing. These high-altitude zones act as the main source of seasonal runoff (Li et al., 2020) precipitation (P).

Downstream areas are dominated by agricultural fields, where water demand peaks during the growing season (May-September). River discharge in this period is largely dependent on the timing and intensity of snowmelt, making the basin suitable for analyzing snow-water-agriculture interactions (Adenova et al., 2024) Central Asia (CA).

Data Sources

DEM. Topographic characteristics of the basin were derived from the NASADEM dataset with a spatial resolution of 30 m (figure 2). This dataset represents an improved version of the original SRTM model, with reduced voids and enhanced vertical accuracy (Chen et al., 2026).

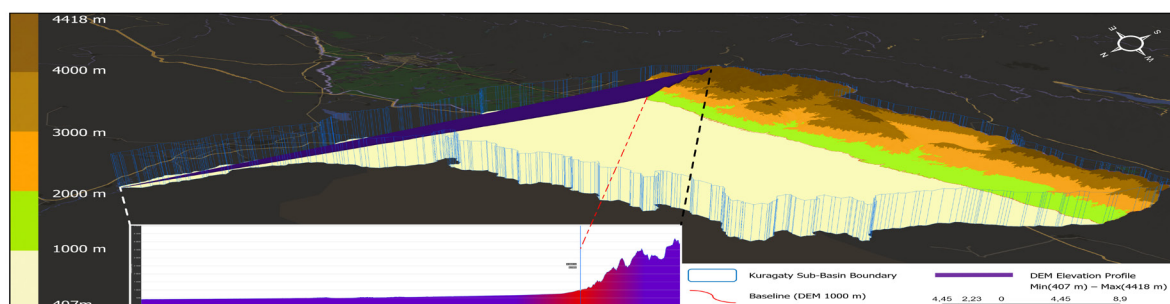


Fig. 2. 3D Digital Elevation Model (DEM) of the Kuragaty Sub-basin with elevation profile from the minimum (407 m) to maximum (4418 m) points and a baseline at 1000 m indicating the zone for snow cover analysis

The DEM was used to delineate the basin boundary, derive elevation zones, generate a mask for areas above 1000 m representing the primary snow accumulation zone, and support terrain-related corrections in the METRIC model.

The elevation threshold of 1 000 m was selected based on regional climatic conditions, where per-

sistent seasonal snow cover is typically observed above this level.

Snow Cover. Snow cover dynamics were assessed using Sentinel-2 Level-2A surface reflectance imagery for the period 2018-2025, focusing on the cold season (November-May). The spatial resolution of 10 m allowed for relatively detailed representation of snow distribution in mountainous terrain (Yang et al., 2026).

Snow detection was based on the Normalized Difference Snow Index (NDSI), calculated as (1):

$$NDSI = \frac{Green - SWIR}{GREEN + SWIR} \quad (1)$$

where the green band (B03) and shortwave infrared band (B11) were used. A threshold value of $NDSI \geq 0.4$ was applied to classify snow-covered pixels. The threshold is commonly used in mountainous environments and provides a reasonable balance between omission and commission errors.

Cloud and shadow contamination were addressed using the Sentinel-2 Scene Classification Layer (SCL). Pixels identified as clouds, cloud shadows, or cirrus were excluded from analysis. And the same time, pixels classified as snow/ice were retained, even in cases of partial cloud probability, to avoid excessive masking of valid snow observations.

To reduce noise and improve temporal consistency, monthly composites were generated by aggregating all available cloud-free observations within each month and calculating the median NDSI value per pixel. The use of the median, rather than the mean, helped to limit the influence of outliers and residual atmospheric effects (Ma & Zhang, 2022).

Final snow cover statistics were calculated as the percentage of snow-covered area within the elevation zone above 1 000 m (figure 3).

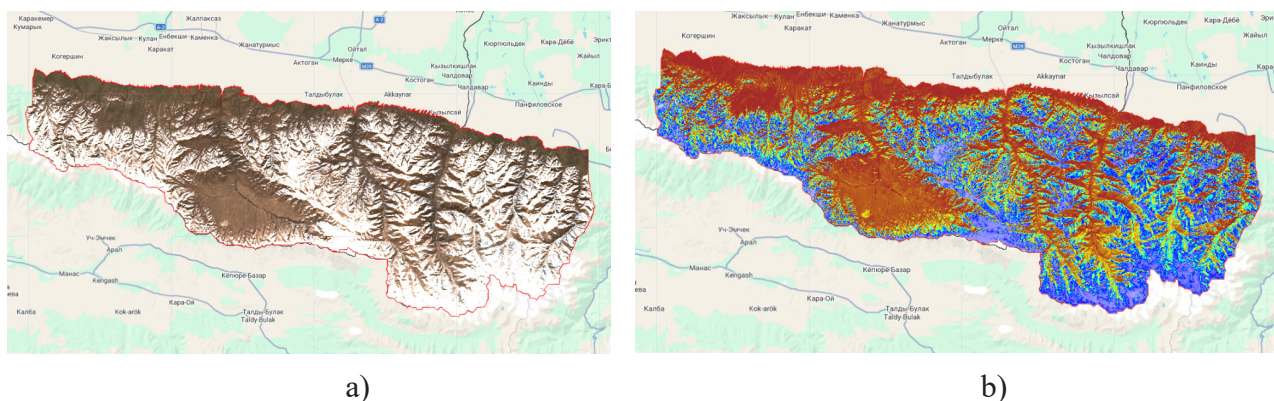


Fig. 3. Sentinel-2 scene (18 March 2025) showing: (a) RGB composite; (b) NDSI used for snow cover detection

Evapotranspiration Estimation. Actual ET was estimated using the METRIC (Mapping Evapotranspiration at High Resolution with Internalized Calibration) model applied to Landsat imagery. The method is based on the surface energy balance approach where ET is derived as the residual term (Kumar & Hamouda, 2025)(2):

(2)

Where R_n is net radiation, G is soil heat flux, and H is sensible heat flux.

Landsat 7 and Landsat 8 data were used due to their availability of both multispectral and thermal bands. The spatial resolution of 30 m enabled analysis at the field scale, which particularly important in heterogeneous agricultural landscapes (Allen et al., 2007) (figure A1).

The METRIC workflow included the following steps (figure 4):

1. calculation of surface reflectance-based indices (e.g., NDVI, albedo);
2. estimation of land surface temperature from thermal bands;
3. identification of hot and cold pixels for internal calibration;
4. computation of sensible and latent heat flux;
5. derivation of daily ET values.

Meteorological data required for the model (air temperature, humidity, wind speed, solar radiation) were obtained from available regional datasets and used to calculate reference evapotranspiration (ET_r) (figure

A2).

To focus on agricultural water use, a cropland mask applied, excluding non-agricultural land cover types. ET values were then summarized as mean and maximum daily values for each month during the growing season (May–September).

Because of the 16-day revisit time of Landsat and occasional cloud cover, ET time series are not continuous. However, the available observations are sufficient to capture seasonal patterns and interannual variability (Singh & Senay, 2015) Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL).

Hydrological data. Hydrological response of the basin was assessed using discharge and water level data from Kazhydromet monitoring network. Observations from the Merke (Zimovye Ulbutuy) gauging station were used, as this station reflects flow conditions influenced by upstream snowmelt.

Monthly averages of discharge (m^3/s) and water level were calculated for the study period. These data provide an independent reference for evaluating how snow dynamics translate into river flow during the growing season.

Data analysis. The analysis focused on identifying relationship between snow cover, ET, and river discharge over the period 2018–2025.

The following steps were applied:

1. calculation of monthly climatologies (mean and standard deviation) for snow cover, ET and discharge;
2. estimation of seasonal metrics, including mean snow cover (March–April) and total ET (May–September);
3. construction of a correlation matrix including key variables (snow, ET, discharge) to explore interdependencies.

Given the relatively short time series ($n=8$ years), the statistical results were interpreted with caution. Emphasis was placed not only on significance levels but also on the strength and physical plausibility of observed relationships.

Results.

Snow Cover Dynamics

Snow cover in the mountainous part of the Kuragaty sub-basin (1 000 m) shows a clear and repeatable seasonal pattern. In all analyzed years, snow accumulation begins in late autumn and reaches its maximum extent during the winter months (figure 4). The highest average values were observed between December and February, when snow-covered area consistently exceeded 55 %, with December showing the latest mean value (59 ± 11.7 %). January and February exhibited comparable levels, although with slightly higher variability.

With the onset of spring, snow cover declines rapidly. By April, the mean snow-covered area decreases to approximately 27.6 ± 12.7 %, and by May it is reduced to less than 10 % (8.6 ± 4.4 %). This sharp transition reflects the dominant role of temperature-driven melting processes in the basin.

The spring snow index, defined as the average snow cover for March–April, reached a mean value of 37 ± 8.2 % over the study period.

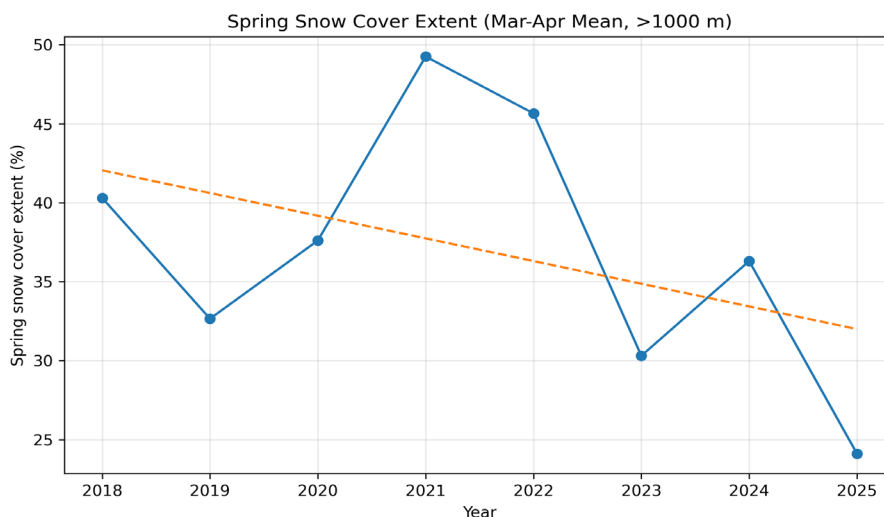


Fig. 4. Spring snow cover extent

Seasonal Pattern of Evapotranspiration

ET over agricultural areas follows a distinct seasonal cycle aligned with crop development and irrigation practices. Mean daily ET values increase rapidly at the beginning of the growing season, reaching 2.1 ± 0.6 mm/day in May. The highest values are observed in June, when maximum daily ET peaks at 7.4 ± 1.2 mm/day. This period corresponds to both favorable climatic conditions and active irrigation.

After June, ET gradually decreases toward the end of the growing season. By September, mean daily ET drops to 0.84 ± 0.18 mm/day, reflecting reduced crop activity and lower evaporative demand.

The total ET for the growing season (May-September) averages 214.4 ± 24.2 mm (figure 5) (table 1).

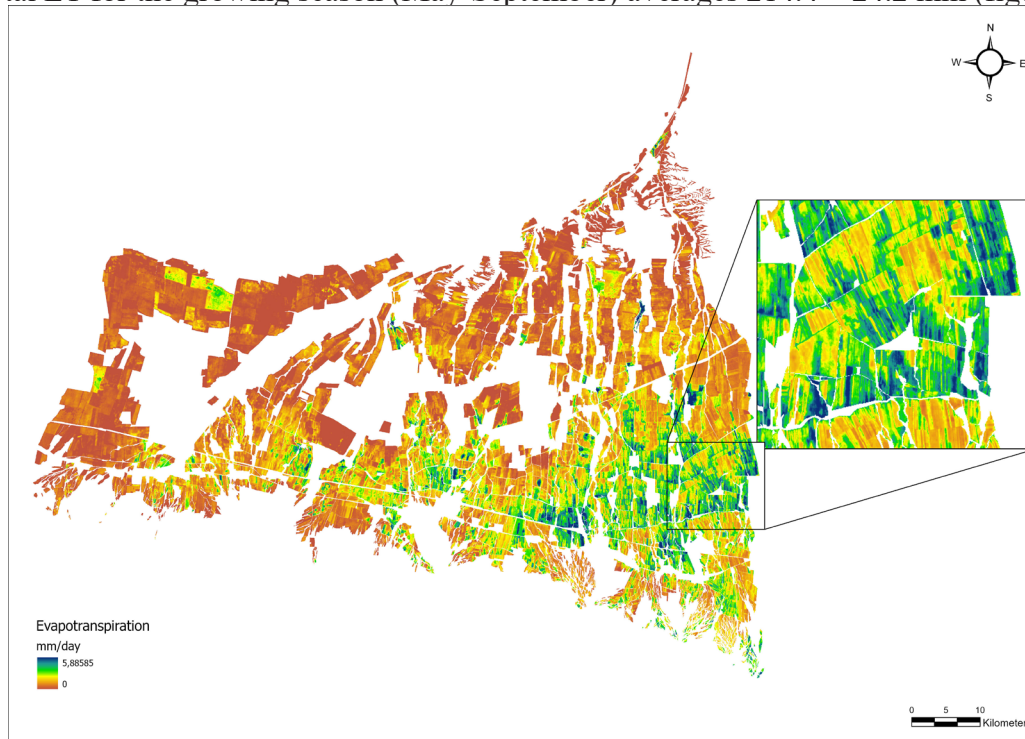


Fig. 5. Cropland-masked daily ET (METRIC, 3 July 2025)

Table 1 – Seasonal ET totals (May-Sep) per year (mm). (Computed from monthly mean daily ET * calendar days)

Year	Seasonal ET total (mm)
2018	245.12
2019	219.2
2020	242.6
2021	190.3
2022	192.7
2023	180.6
2024	224
2025	221

River Discharge Characteristics

River discharge during the growing season shows moderate variability, with mean values of 4.26 ± 1.34 m³/s. The highest flows are typically observed in early summer, coinciding with the period of active snowmelt (figure 6).

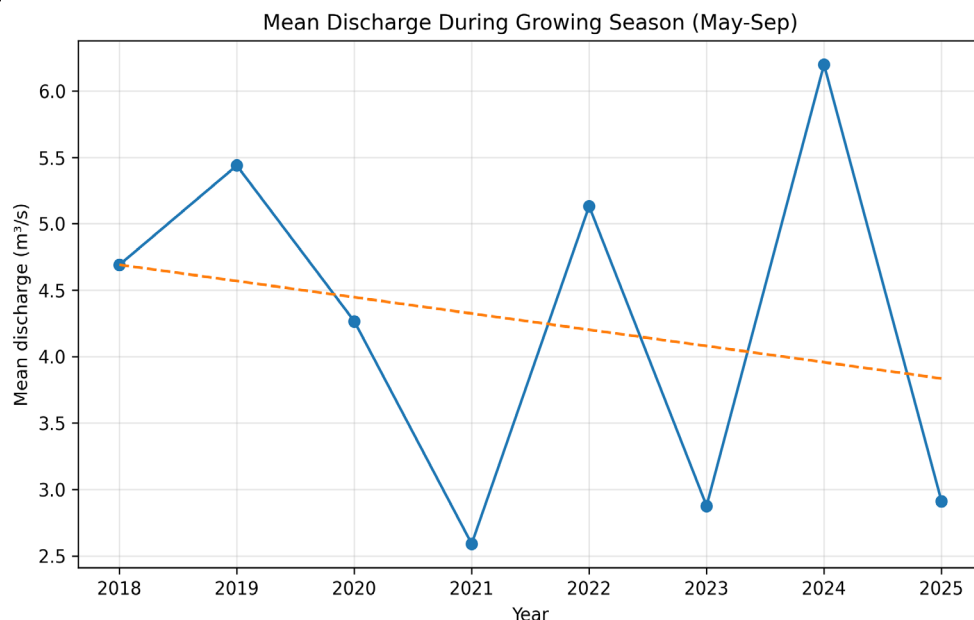


Fig. 6. Mean discharge During Growing Season (May-Sep)

Relationship Between Snow Cover and ET

The relationship between snow cover and ET is most evident at the beginning of the growing season. Statistical analysis indicates positive correlation between winter snow accumulation and early-season ET. In particular, December snow cover shows a correlation of $r = 0.62$ with mean ET in May (figure 7a), while March snow cover is correlated with June at $r = 0.6$ (figure 7b). Although these relationships do not reach conventional levels of statistical significance (p -values slightly above 0.05), they are consistent in direction and magnitude, suggesting a meaningful physical connection.

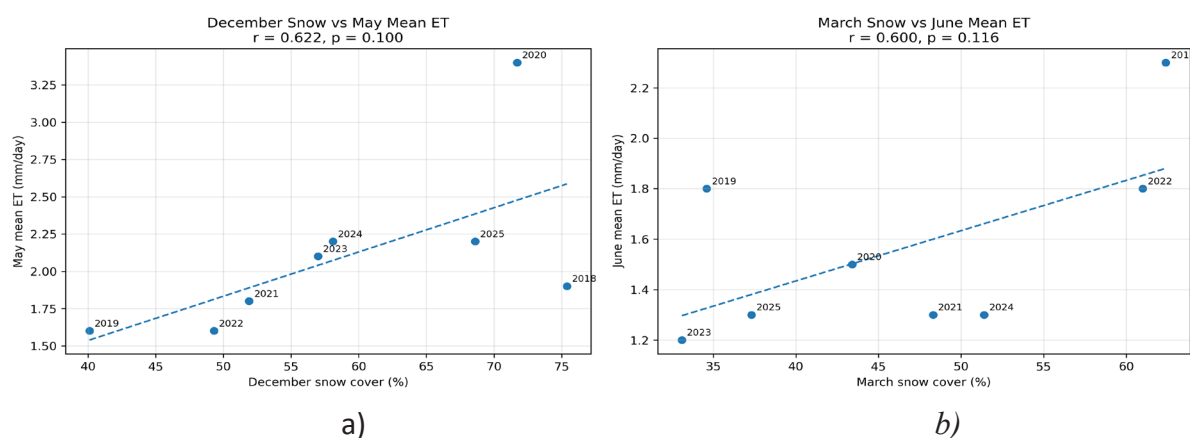


Fig. 7. Snow-ET correlation: (a) December vs May; (b) March vs June

These results indicate that years with greater snow accumulation tend to support higher ET during the early growing season. This pattern is likely related to increased water availability from snowmelt, which reduces constraints on irrigation supply during critical periods of crop development. At the same time, the relationship weakens when considering total seasonal ET (May-September), implying that factors such as irrigation management and water regulation may partially offset natural variability later in the season.

Snow-Discharge and Discharge-ET Relationship

The interaction between snow cover and river discharge reveals additional insights into basin-scale hydrological processes. A statistically significant negative correlation was observed between January snow cover and April discharge ($r = -0.71$, $p = 0.047$), suggesting that higher winter snow storage delays the release of water into the river system.

In contrast, a strong positive relationship was found between February snow cover and discharge in July ($r = 0.78$, $p = 0.024$), indicating that greater snow accumulation contributes to sustained flow later in the season.

The relationship between discharge and ET is moderate (figure 8). For the core summer period (June-August), mean discharge correlates with total ET at $r = 0.59$, $p = 0.121$. Although not statistically signif-

icant, this relationship suggests that higher river flows tend to coincide with increased agricultural water use.

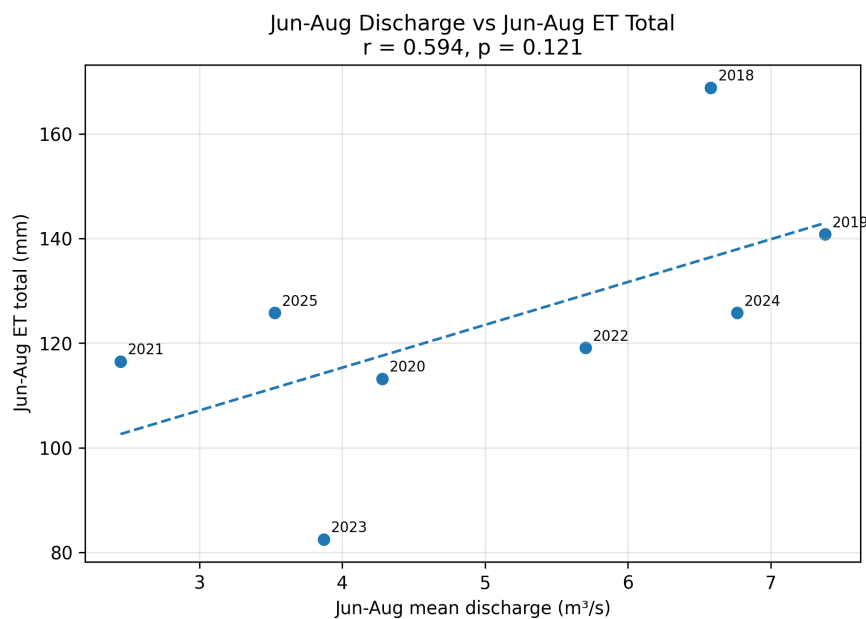


Fig. 8. Jun-Aug Discharge vs Jun-Aug ET Total

Discussion.

The results obtained in this study indicate that snow cover dynamics play a noticeable role in shaping water availability in the Kuragaty sub-basin, although this influence is not uniform throughout the growing season. The clearest relationship is observed at the beginning of the agricultural period, when snowmelt contributes to the initial water supply.

Moderate positive correlations between winter–spring snow cover and evapotranspiration in May–June ($r \approx 0.60$ – 0.62) suggest that years with higher snow accumulation tend to support increased water use during early crop development. This is physically consistent with the hydrological regime of mountain-fed basins, where snowmelt forms the primary source of runoff in late spring and early summer. Similar patterns have been reported for the Tien Shan region, where snowpack is a key control on seasonal water availability and irrigation supply.

At the same time, the relationship weakens when moving from early-season to total seasonal evapotranspiration. The absence of a strong correlation between snow cover and cumulative ET for May–September indicates that snowmelt alone does not determine water consumption over the entire growing period. This can be explained by the increasing role of vegetation development and atmospheric demand, as well as irrigation practices. In irrigated systems, evapotranspiration is not only limited by natural water availability but also regulated through water distribution infrastructure, which can partly compensate for interannual variability in snowmelt.

The analysis of snow–discharge relationships provides additional insight into the timing of water availability. The negative correlation between January snow cover and April discharge ($r = -0.71$) suggests that higher snow accumulation delays melt processes and shifts runoff generation toward later periods. In contrast, the strong positive relationship between February snow cover and July discharge ($r = 0.78$) indicates that years with greater snow storage tend to sustain higher flows during the peak irrigation season. This delayed contribution of snowmelt appears to be an important mechanism for maintaining water availability in summer.

The relationship between discharge and evapotranspiration is weaker ($r \approx 0.59$ for June–August) and not statistically significant, which reflects the regulated nature of water use in the basin. Even under varying river discharge conditions, agricultural water consumption remains relatively stable, likely due to irrigation management and redistribution of water resources. This supports the interpretation that evapotranspiration represents an integrated response of both natural processes and human-controlled water use.

From a methodological perspective, the combined use of Sentinel-2 and Landsat data allowed for a more detailed analysis compared to coarser-resolution datasets. At the same time, several limitations should be taken into account. Snow detection based on optical imagery is affected by cloud cover and may underestimate snow extent in forested areas. The temporal resolution of Landsat limits the continuity of evapotranspiration estimates, particularly during cloudy periods. In addition, hydrological observations are point-based and may

not fully capture spatial variability across the basin. Irrigation practices, which were not explicitly included in the analysis, can further modify the relationship between natural water supply and observed evapotranspiration.

Overall, the results suggest that snow cover acts as an initial control on water availability, particularly at the beginning of the growing season, while its influence becomes less direct later in the season due to the increasing role of climatic and management factors. In the context of the transboundary Shu basin, where upstream processes in Kyrgyzstan affect downstream water use in Kazakhstan, understanding these interactions is especially important for improving water allocation and irrigation planning.

Conclusion.

The analysis carried out in this study shows that snow cover remains an important component of the hydrological system in the Kuragaty sub-basin, primarily influencing water availability at the beginning of the growing season. The obtained results indicate that higher snow accumulation during winter and early spring is generally associated with increased evapotranspiration in May–June, which reflects the contribution of snowmelt to irrigation water supply during the initial stages of crop development.

At the same time, this influence becomes less evident when considering the entire growing season. The weak relationship between snow cover and total seasonal evapotranspiration suggests that water use in agricultural areas is not controlled by natural factors alone. As the season progresses, vegetation dynamics, atmospheric demand, and irrigation management increasingly determine evapotranspiration patterns, reducing the direct effect of snowmelt.

The relationship between snow cover and river discharge further highlights the role of snowpack in regulating both the timing and availability of water resources. Higher snow accumulation tends to delay melt processes in early spring while supporting more stable river flow during the summer period. This behavior confirms the function of snow as a natural storage component within the basin.

Several methodological limitations should be taken into account when interpreting these results. Snow detection based on optical satellite data is affected by cloud cover and may lead to underestimation of snow extent, particularly in areas with forest cover. The temporal resolution of Landsat imagery limits the continuity of evapotranspiration estimates, especially during periods with frequent cloudiness. In addition, hydrological observations are based on point measurements and may not fully represent spatial variability across the basin. Irrigation practices, which were not explicitly included in the analysis, can further influence the relationship between natural water availability and observed evapotranspiration.

Despite these limitations, the combined use of satellite and ground-based data provides a consistent framework for analyzing interactions between snow cover, river discharge, and agricultural water use. The results highlight the importance of considering snow conditions as an early indicator of water availability, while also emphasizing the need to account for human-controlled processes in water management. In the context of the transboundary Shu basin, improved integration of upstream and downstream data could support more effective irrigation planning and water allocation under conditions of increasing interannual variability.

REFERENCES

- Adenova, D., Sarsekova, D., Absametov, M., Murtazin, Y., Sagin, J., Trushel, L., & Miroshnichenko, O. (2024). The Study of Groundwater in the Zhambyl Region, Southern Kazakhstan, to Improve Sustainability. *Sustainability*, 16(11), 4597. <https://doi.org/10.3390/su16114597>
- Al-Farabi Kazakh National University, & Safina, A. U. (2023). River runoff resources of the Shu-Talas water management basin in the context of climate change // *Engineering Journal of Satbayev University*, 145(3), 25–30. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.04>
- Adenova, D., Murtazin, E., Miroshnichenko, O., Sotnikov, E., & Tazhiev, S. (2025). Application of digital technologies in monitoring transboundary aquifers of the Shu–Talas basin // *Izdenister Natigeler*, (3(107)). <https://doi.org/10.37884/3-2025/42>
- Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Model // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 380–394. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(380\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(380))
- Chen, J., Tang, F., Lin, H., Huang, B., & Lin, X. (2026). Spatial Heterogeneity and Drivers of Vertical Error in Global DEMs: An Explainable Machine Learning Approach in Complex Subtropical Coastal Zones. *Remote Sensing*, 18(8), 1125. <https://doi.org/10.3390/rs18081125>
- Gascoin, S., Barrou Dumont, Z., Deschamps-Berger, C., Marti, F., Salgues, G., López-Moreno, J. I., Revuelto, J., Michon, T., Schattan, P., & Hagolle, O. (2020). Estimating Fractional Snow Cover in Open Terrain from Sentinel-2 Using the Normalized Difference Snow Index. *Remote Sensing*, 12(18), 2904. <https://doi.org/10.3390/rs12182904>
- Hao, X., Fan, X., Zhao, Z., & Zhang, J. (2023). Spatiotemporal Patterns of Evapotranspiration in Central Asia from 2000 to 2020. *Remote Sensing*, 15(4), 1150. <https://doi.org/10.3390/rs15041150>
- Kaliyeva, K., Punys, P., & Zhaparkulova, Y. (2021). The Impact of Climate Change on Hydrological Regime of the Transboundary River Shu Basin (Kazakhstan–Kyrgyzstan): Forecast for 2050. *Water*, 13(20), 2800. <https://doi.org/10.3390/w13202800>
- Koshim, A., Takibayev, Z., Gafurov, A., Munaitpassova, A., Kanatkaliyev, D., Bekzhanova, A., Zhumalipov, A., & Sharapkhanova, Z. (2026). Long-Term Spatiotemporal Dynamics of Snow Cover in the Arys River Basin (Western Tien Shan). *Hydrology*, 13(4), 115. <https://doi.org/10.3390/hydrology13040115>
- Kumar, N., & Hamouda, M. A. (2025). Utility of single-source surface energy balance models in estimation of daily actual evapotranspiration

in arid regions // *Hydrological Sciences Journal*, 70(4), 664–686. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2446266>

Li, Z., Chen, Y., Li, Y., & Wang, Y. (2020). Declining snowfall fraction in the alpine regions // Central Asia. *Scientific Reports*, 10(1), 3476. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60303-z>

Linke, S., Lehner, B., Ouellet Dallaire, C., Ariwi, J., Grill, G., Anand, M., Beames, P., Burchard-Levine, V., Maxwell, S., Moidu, H., Tan, F., & Thieme, M. (2019). Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution. *Scientific Data*, 6(1), 283. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0300-6>

Ma, Y., & Zhang, Y. (2022). Improved on snow cover extraction in mountainous areas based on multi-factor ndsi dynamic threshold. *The International Archives of the Photogrammetry // Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B3-2022, 771–778. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-771-2022>

Narbayeva, K., Tairov, A., Ismailova, G., Narbayev, M., Mukhanbet, Y. (2025). Assessment of water resources in the shu-talas river basin // *Hydrometeorology and Ecology*, 117(2), 8–17. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2025-117-2-8-17>

Singh, R., & Senay, G. (2015). Comparison of Four Different Energy Balance Models for Estimating Evapotranspiration in the Midwestern United States. *Water*, 8(1), 9. <https://doi.org/10.3390/w8010009>

Yang, S., Chen, H., Zhang, Y., Shi, Q., Peng, B., Han, Y., & Hong, Z. (2026). Snow Density Retrieval Based on Sentinel-2 Multispectral Data and Deep Learning. *Remote Sensing*, 18(8), 1200. <https://doi.org/10.3390/rs18081200>

Zhang, L., Guli-Jiapaer, Yu, T., Liang, H., Lin, K., Ju, T., De Maeyer, P., & Van De Voorde, T. (2025). Evaluating the performance of snow depth reanalysis products in the arid region of Central Asia // *International Journal of Digital Earth*, 18(1), 2447368. <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2447368>



M.S. Kalieva*, G.K. Serikbaeva, G.E. Akhmetkerimova

Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: madina.kalieva.1997@mail.ru

ORGANIZATION OF SETTLEMENT LANDS IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION

Kalieva Madina Sagidollakzy, Master of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of “Land Resources and Cadastre”. Kazakhstan, 050063, Almaty, Raiymbek Avenue 590/14

E-mail: madina.kalieva.1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9452-6817>;

Serikbayeva Gaukhar Kanalbekovna, PhD, senior lecturer of the department of Land Resources and Cadastre. Kazakhstan, Almaty, 050010, Abay Street, 8

E-mail: serikbayeva.gaukhar@kaznaru.edu, <https://orcid.org/0000-0002-5043-8874>;

Akhmetkerimova Gulnura Eleusizovna, Master of Science in the field of Services, specialty Cadastre, senior lecturer at the department of land resources and cadastre, Kazakh national agrarian research university. Kazakhstan, Almaty, Abay Ave 8

E-mail: gulnura.akhmetkerimova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5880-8756>.

Abstract. *Introduction.* The organization of land in populated areas under conditions of digitalization is an important direction for efficient land resource management. Rapid urbanization and increasing pressure on infrastructure require the improvement of territorial planning. In this regard, scientific research focused on the implementation of Geographic Information Systems (GIS), electronic land cadastre, and smart city technologies is of particular importance. *Materials and Methods.* The study was conducted in the Almaty Region. The research utilized geospatial data, electronic cadastre information, and territorial planning documents. Methods included comparative analysis, a systems approach, and spatial data processing. The experience of Estonia, South Korea, and Singapore was also examined. *Results and Discussion.* The results showed that digital technologies facilitate land registration, updating cadastral data, and optimizing infrastructure placement. In addition, an increase in the level of public service automation was identified. However, several issues were revealed, including insufficient internet infrastructure, incomplete digitalization of data, and limited accessibility of information. *Conclusion.* The organization of land in populated areas based on digitalization improves the efficiency of territorial planning and enhances urbanization management. The widespread implementation of digital technologies and infrastructure development are key factors for sustainable development.

Keywords: digitalization, territorial organization, land cadastre, geoinformation systems, Smart City, Almaty region

For citation: Kalieva M.S., Kalmagambetova A.A., Yildiz F. (2026). A Scientifically Grounded Approach to Planning the Rational Use of Land in Settlements // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 160–168. <https://doi.org/10.37884/3-2026/13> [in Kaz.].

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

Acknowledgment: *We express our gratitude to our scientific supervisor for assistance in clarifying the research topic, providing methodological recommendations, and helping improve the content of the study, as well as to the lecturers of the Department of Land Resources and Cadastre for their support in writing the article.*

М.С. Қалиева*, Г.К. Серикбаева, Г.Е. Ахметкеримова

Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, КеАҚ, Алматы, Қазақстан.

E-mail: madina.kalieva.1997mail.ru

ЦИФРЛАНДЫРУ ЖАҒДАЙЫНДА ЕЛДІ МЕКЕН ЖЕРЛЕРІН ҰЙЫМДАСТЫРУ

Қалиева Мадина Сағидоллақызы, техника ғылымдарының магистрі, “Жер ресурстары және кадастр” кафедрасының ассистенті, Қазақстан, 050063, Алматы, Райымбек даңғылы, 590/14

E-mail: madina.kalieva.1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9452-6817>;

Серикбаева Гаухар Каналбекқызы, философия ғылымдарының докторы (PhD), «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының аға оқытушысы, Қазақстан, 050010, Алматы, Абай көшесі, 8

E-mail: serikbayeva.gaukhar@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5043-8874>;

Ахметкеримова Гульнұра Елеусизовна, кадастр мамандығы бойынша қызмет көрсету саласы ғылымдарының магистрі, «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының аға оқытушысы, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан, Алматы, Абай даңғылы, 8

E-mail: gulnura.akhmetkerimova@kaznaru.edu.kz, <https://0000-0001-5880-8756>.

Аннотация. Кіріспе. Цифрландыру жағдайында елді мекен жерлерін аумақтық ұйымдастыру жер ресурстарын тиімді басқарудың маңызды бағыты болып табылады. Урбанизация үдерісінің қарқынды дамуы және инфрақұрылымға түсетін жүктеменің артуы аумақтық жоспарлауды жетілдіруді талап етеді. Осыған байланысты геоақпараттық жүйелер (ГАЗ), электрондық жер кадастры және «Ақылды қала» технологияларын енгізуге бағытталған ғылыми зерттеулер ерекше маңызға ие. Материалдар мен әдістер. Зерттеу Алматы облысы аумағында жүргізілді. Жұмыста геоақпараттық деректер, электрондық кадастр мәліметтері және аумақтық жоспарлау құжаттары пайдаланылды. Зерттеу барысында салыстырмалы талдау, жүйелік тәсіл және кеңістіктік деректерді өңдеу әдістері қолданылды. Сонымен қатар Эстония, Оңтүстік Корея және Сингапур елдерінің тәжірибелері қарастырылды. Нәтижелер мен талқылау. Зерттеу нәтижелері цифрлық технологиялардың жер учаскелерін тіркеу, кадастрлық деректерді жаңарту және инфрақұрылымды тиімді орналастыру процесін жеңілдететінін көрсетті. Сонымен қатар мемлекеттік қызметтерді автоматтандыру деңгейінің артқаны анықталды. Дегенмен, интернет инфрақұрылымының жеткіліксіздігі, деректердің толық цифрланбауы және ақпараттың қолжетімділік деңгейінің төмендігі негізгі проблемалар ретінде айқындалды. Қорытынды. Елді мекен жерлерін цифрландыру негізінде ұйымдастыру аумақтық жоспарлаудың тиімділігін арттырып, урбанизация үдерісін басқаруды жетілдіреді. Цифрлық технологияларды кеңінен енгізу мен инфрақұрылымды дамыту – тұрақты дамудың басты факторлары болып табылады.

Түйін сөздер: цифрландыру, аумақтық ұйымдастыру, жер кадастры, геоақпараттық жүйелер, Ақылды қала, Алматы облысы

Дәйексөз үшін: Қалиева М.С., Калмагамбетова А.А., Йылдыз Ф. (2026). Научно обоснованный подход к планированию рационального использования земель в населённых пунктах // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Іс. 3. Number 111. Рр. 160–168. <https://doi.org/10.37884/3-2026/13> [In Kaz.].

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

Алғыс: Бұл зерттеу жұмысын жүргізу барысында ғылыми жетекшіме – тақырыпты нақтылау, әдістемелік бағыт беру және зерттеудің мазмұндық сапасын арттырудағы көмегі үшін шынайы алғысымды білдіремін. Сондай-ақ, «Жер ресурстары және кадастр» кафедрасының оқытушыларына мақаланы жазуда қолдау көрсеткені үшін алғысымызды білдіреміз.

М.С. Қалиева*, Г.К. Серикбаева., Г.Е. Ахметкеримова

НАО «Казахский национальный аграрный университет», Алматы, Казахстан.

E-mail: Madina.kalieva.1997mail.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Қалиева Мадина Сағидоллақызы, магистр технических наук, ассистент кафедры «Земельные ресурсы и кадастр», Казахстан, Алматы, 050063, проспект Раймбек, 590/14

E-mail: madina.kalieva.1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9452-6817>;

Серикбаева Гаухар Каналбековна, доктор философских наук (PhD), старший преподаватель кафедры «Земельные ресурсы и кадастр», Казахстан, Алматы, 050010, улица Абая, 8

E-mail: serikbayeva.gaukhar@kaznaru.edu, <https://orcid.org/0000-0002-5043-8874>;

Ахметкеримова Гульнура Елеусизовна, магистр наук в области услуг по специальности Кадастр, старший преподаватель кафедры «Земельные ресурсы и кадастр», Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, Алматы, пр.Абая, 8

E-mail: gulnura.akhmetkerimova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5880-8756>.

Аннотация. Введение. Организация земель населённых пунктов в условиях цифровизации является важным направлением эффективного управления земельными ресурсами. Быстрое развитие урбанизации и рост нагрузки на инфраструктуру требуют совершенствования территориального планирования. В этой связи особое значение приобретают научные исследования, направленные на внедрение геоинформационных систем (ГИС), электронного земельного кадастра и технологий «умного города». Материалы и методы. Исследование проведено на территории Алматинской области. В работе использованы геоинформационные данные, сведения электронного кадастра и документы территориального планирования. Применялись методы сравнительного анализа, системного подхода и обработки пространственных данных. Также рассмотрен опыт Эстонии, Южной Кореи и Сингапура. Результаты и обсуждение. Результаты исследования показали, что цифровые технологии способствуют упрощению регистрации земельных участков, обновлению кадастровых данных и эффективному размещению инфраструктуры. Кроме того, отмечен рост уровня автоматизации государственных услуг. Вместе с тем выявлены проблемы, связанные с недостаточным развитием интернет-инфраструктуры, неполной цифровизации данных и низким уровнем доступности информации. Заключение. Организация земель населённых пунктов на основе цифровизации повышает эффективность территориального планирования и способствует улучшению управления процессами урбанизации. Широкое внедрение цифровых технологий и развитие инфраструктуры являются ключевыми факторами устойчивого развития.

Ключевые слова: цифровизация, территориальная организация, земельный кадастр, геоинформационные системы, «умный» город, Алматинская область.

Для цитирования: Қалиева М.С., Калмагамбетова А.А., Йылдыз Ф. (2026). «Научно обоснованный подход к планированию рационального использования земель в населённых пунктах» // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Рр. 160–168. <https://doi.org/10.37884/3-2026/13> [In Kaz.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Мы выражаем благодарность нашему научному руководителю за помощь в уточнении темы, предоставление методических рекомендаций и содействие в улучшении содержания исследования, а также преподавателям кафедры земельных ресурсов и кадастра за поддержку при написании статьи.

Кіріспе.

Қазіргі таңда цифрландыру әлемдік үрдіске айналып, экономиканың барлық салаларына, соның ішінде жер қатынастарына да үлкен өзгерістер енгізуде. Қазақстанда да елді мекен жерлерін басқару мен жоспарлауда цифрлық технологиялар белсенді қолданылуда. Алматы облысы – экономикалық және инфрақұрылымдық дамуы қарқынды аймақтардың бірі. Осы мақалада елді мекен жерлерін аумақтық ұйымдастыруда цифрландырудың рөлі, оның артықшылықтары мен қиындықтары қарастырылады. Қазіргі уақытта цифрландыру әлемнің барлық салаларына, соның ішінде аумақтық жоспарлау мен жер ресурстарын басқаруға үлкен өзгерістер әкелуде. Елді мекен жерлерін тиімді ұйымдастыру – урбанизация, инфрақұрылымдық даму, экологиялық тұрақтылық және экономикалық өсім үшін маңызды фактор [Junusov et al., 2024: 60–62]. Қазақстанда урбанизация қарқыны жыл сайын артып келеді, бұл жер ресурстарын дұрыс басқаруды талап етеді. Цифрлық технологиялар, әсіресе ГАЗ, электрондық жер кадастры және ғарыштық мониторинг жер ресурстарын басқаруда жылдамдық, дәлдік және ашықтықты қамтамасыз етеді. Бұл технологияларды енгізу құжат айналымын жеңіл-

детіп, бюрократиялық кедергілерді азайтып, мемлекеттік қызметтерді цифрлық форматқа көшіруге мүмкіндік береді. Алматы облысы – еліміздегі экономикалық және демографиялық тұрғыдан қарқынды дамып келе жатқан аймақтардың бірі. Алайда, өңірде жер қатынастарын басқару, қала құрылысы мен ауылдық жерлердің дамуында бірқатар проблемалар сақталуда. Оның ішінде жер телімдерінің цифрлану деңгейінің төмендігі, инфрақұрылымдық жүйелердің біркелкі дамымауы және халықтың цифрлық сервистерге қолжетімділігі өзекті мәселелердің бірі болып отыр. Осы зерттеу Алматы облысының елді мекен жерлерін цифрландыру арқылы аумақтық ұйымдастыруды жетілдірудің тиімді жолдарын анықтауға бағытталған. Бұл тақырып Қазақстандағы аймақтық даму стратегиясын жетілдіруге, мемлекеттік басқарудың ашықтығын арттыруға және жер ресурстарын ұтымды пайдалануға үлес қоса алады. Сондықтан зерттеудің өзектілігі тек теориялық тұрғыда ғана емес, сонымен қатар практикалық маңызы зор.

Материалдар мен зерттеу әдістері.

Бұл мақалада цифрландыру жағдайында елді мекен жерлерін аумақтық ұйымдастыруға байланысты Қазақстан Республикасының заңнамалық актілері, ресми статистикалық деректер, ғылыми мақалалар, ГАЖ деректері және халықаралық тәжірибелер негізге алынды. Зерттеу барысында келесі негізгі материалдар пайдаланылды: Қазақстан Республикасының Жер кодексі – елді мекен жерлерін басқару және аумақтық ұйымдастыру қағидалары; «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы – цифрландыруды дамыту стратегиясы; Алматы облысының жер ресурстары туралы статистикалық мәліметтер – халық санының өсуі, жер пайдаланудың ағымдағы жағдайы; ГАЖ-технологиялары негізінде жасалған картографиялық материалдар – жер телімдерін жоспарлау және басқару құралдары; Ғылыми еңбектер мен шетелдік тәжірибелер – цифрландыру арқылы аумақтық ұйымдастыруды жетілдіру жолдары [Junusov et al., 2024: 60–62].

Зерттеу әдістері.

Зерттеудің мақсатына жету үшін бірнеше ғылыми және аналитикалық әдістер қолданылды. Салыстырмалы талдау әдісі – Қазақстандағы және дамыған елдердегі цифрландыру процестерін салыстыру арқылы ең тиімді модельдерді анықтау. Геоақпараттық талдау әдісі – ГАЖ технологиялары негізінде жер ресурстарын жоспарлау және мониторинг жүргізу. Статистикалық әдістер – Алматы облысы бойынша халық санының динамикасын, жер ресурстарын пайдалану көрсеткіштерін талдау. Сараптамалық бағалау әдісі – цифрландырудың аумақтық ұйымдастыруға ықпалын бағалау үшін сала мамандарының пікірлері мен тәжірибесін зерттеу.

Зерттеу барысында алынған мәліметтер ақпараттық технологиялар мен цифрлық шешімдерді қолдана отырып, елді мекен жерлерін тиімді ұйымдастырудың оңтайлы жолдарын анықтауға көмектеседі.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.

Зерттеу барысында цифрлық технологиялардың елді мекен жерлерін аумақтық ұйымдастырудағы маңызы мен Алматы облысында жүзеге асырылу деңгейі қарастырылды. Талдау нәтижелері көрсеткендей, цифрландыру жер ресурстарын басқару мен инфрақұрылымды жоспарлауды тиімді әрі ашық етуге мүмкіндік береді. Қазіргі таңда цифрландыру әлемдік үрдіске айналып, экономиканың барлық салаларына, соның ішінде жер қатынастарына да үлкен өзгерістер енгізуде. Қазақстанда да елді мекен жерлерін басқару мен жоспарлауда цифрлық технологиялар белсенді қолданылуда. Алматы облысы – экономикалық және инфрақұрылымдық дамуы қарқынды аймақтардың бірі. Осы мақалада елді мекен жерлерін аумақтық ұйымдастыруда цифрландырудың рөлі, оның артықшылықтары мен қиындықтары қарастырылады [<https://stat.gov.kz>] (05.01.2025) [in Kaz.].

Елді мекен жерлерін аумақтық ұйымдастыруда ең алдымен халық саны ескеру қажетпіз. 1-кестеде Алматы облысының 2025 жылғы 1 қаңтар мен 1 наурыз аралығындағы қала және ауыл халқының саны мен демографиялық өзгерістері көрсетілген. Облыс халқының жалпы саны 1,56 млн. адамды құрайды, есептік кезеңде халық саны 6,1 мың адамға өскен. Өсім негізінен көші-қон сальдосының оң болуымен байланысты. Ең жоғары халық өсімі Қарасай, Талғар және Іле аудандарында байқалады, бұл өңірлерде көші-қон есебінен халық саны артып отыр. Ал Балқаш, Кеген, Райымбек, Ұйғыр аудандарында халық саны азайған, мұнда көші-қонның теріс сальдосы басым. Қала халқының өсу қарқыны ауыл халқына қарағанда төмен, ал жалпы өсімнің негізгі үлесі ауыл халқы есебінен қалыптасқан. Бұл Алматы агломерациясына жақын аудандарда қоныстану үрдісінің күшеюін көрсетеді.

Кесте 1 – Алматы облысының 2025 жылғы 1 қаңтардағы қала және ауыл халқы саны [3]

	2025 жылғы 1 қаңтар дағы саны	халықтың жалпы өсімі	оның ішінде		2025 жылғы 1 наурыздағы Саны	табиғи өсуі	
			есептік кезең дегі	көші-қон сальдосы		өсу қарқыны	Орташа саны
Бүкіл халық							
Алматы	1 560 124	6 133	2 869	3 264	1566 257	0,39	1 563 191
Қонаев г.а.	65 822	55	80	-25	65 877	0,08	65 850
Алатау қ.а.	51 941	618	88	530	52 559	1,19	52 250
Балқаш	27 889	-191	36	-227	27 698	-0,68	27 793
Еңбекшіқазақ	284 837	-465	504	-969	284 372	-0,16	284 604
Жамбыл	170 136	64	372	-308	170 200	0,04	170 168
Кеген	26 410	-318	30	-348	26 092	-1,20	26 251
Қарасай	354 278	3 454	799	2 655	357 732	0,97	356 005
Райымбек	27 426	-301	38	-339	27 125	-1,10	27 276
Талғар	255 124	2 299	423	1 876	257 423	0,90	256 274
Ұйғыр	61 499	-309	64	-373	61 190	-0,50	61 344
Іле	234 762	1 227	435	792	235 989	0,52	235 376
Қала халқы							
Алматы	302 886	791	399	392	303 677	0,26	303 282
Қонаев г.а.	57 464	66	63	3	57 530	0,11	57 497
Алатау қ.а.	51 941	618	88	530	52 559	1,19	52 250
Еңбекшіқазақ	41 195	-102	54	-156	41 093	-0,25	41 144
Қарасай	86 696	281	137	144	86 977	0,32	86 837
Талғар	65 590	-72	57	-129	65 518	-0,11	65 554
Ауыл халқы							
Алматы	1 257 238	5 342	2 470	2 872	1 262 580	0,42	1 259 909
Қонаев г.а.	8 358	-11	17	-28	8 347	-0,13	8 353
Алатау қ.а.	0	0	0	0	0	0,00	0
Балқаш	27 889	-191	36	-227	27 698	-0,68	27 793
Еңбекшіқазақ	243 642	-363	450	-813	243 279	-0,15	243 460
Жамбыл	170 136	64	372	-308	170 200	0,04	170 168
Кеген	26 410	-318	30	-348	26 092	-1,20	26 251
Қарасай	267 582	3 173	662	2 511	270 755	1,19	269 168
Райымбек	27 426	-301	38	-339	27 125	-1,10	27 276
Талғар	189 534	2 371	366	2 005	191 905	1,25	190 720
Ұйғыр	61 499	-309	64	-373	61 190	-0,50	61 344
Іле	234 762	1 227	435	792	235 989	0,52	235 376

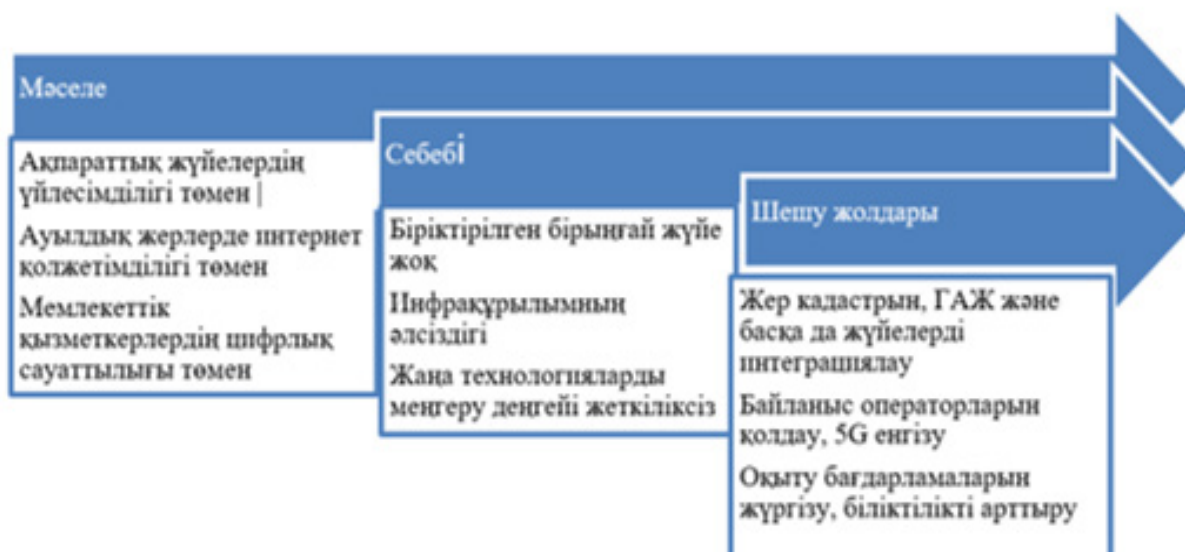
Алматы облысында цифрландырудың ағымдағы жағдайында электрондық жер кадастры енгізілген, бірақ толық цифрландыру процесі баяу жүріп жатыр және ГАЗ технологиялары қолданыла бастады, алайда бұл жүйелер әлі толық интеграцияланбаған. Зерттеу объектісінде ғарыштық мониторинг арқылы жерді бақылау дамып келеді, бірақ барлық жер телімдері үшін бұл жүйе қолжетімді емес және де интеллектуалды көлік және инфрақұрылым жүйелері кейбір қалаларда енгізілді, бірақ ауылдық жерлерде әлі дамымаған [Qanatqyzy et al., 2022].

Қазақстанда «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы аясында жер ресурстарын басқару жүйесі жаңартылуда Алматы облысында ГАЗ қолданысқа енгізіліп, жер кадастры электрондық форматқа көшірілуде [Tólegen et al., 2023: 12].

1-суретте Алматы облысында цифрландыруды енгізу барысында кездесетін негізгі мәселелер, олардың себептері және шешу жолдары көрсетілген. Негізгі проблемалардың бірі–ақпараттық жүйелердің өзара үйлесімділігінің төмендігі, бұл бірыңғай интеграцияланған жүйенің болмауымен байланысты. Мұны жер кадастры, геоақпараттық жүйелер және басқа платформаларды біріктіру арқылы шешу ұсынылады. Сонымен қатар, ауылдық жерлерде интернеттің қолжетімділігінің төмендігі

цифрландырудың баяу жүруіне әсер етеді [Baideldinov et al., 2024: 13].

Бұл мәселе инфрақұрылымның әлсіздігімен түсіндіріледі және байланыс операторларын қолдау мен заманауи байланыс технологияларын енгізу арқылы шешілуі мүмкін. Тағы бір маңызды мәселе–мемлекеттік қызметкерлердің цифрлық сауаттылығының төмендігі. Жаңа технологияларды меңгеру деңгейінің жеткіліксіз болуы оқыту бағдарламаларын ұйымдастыру және біліктілікті арттыру арқылы шешуді талап етеді [Sarakova et al., 2021: 43].



Сур. 1. Алматы облысында цифрландыруды енгізудің негізгі мәселелері
[Fig. 1. Key Challenges in Implementing Digitalization in Almaty Region]

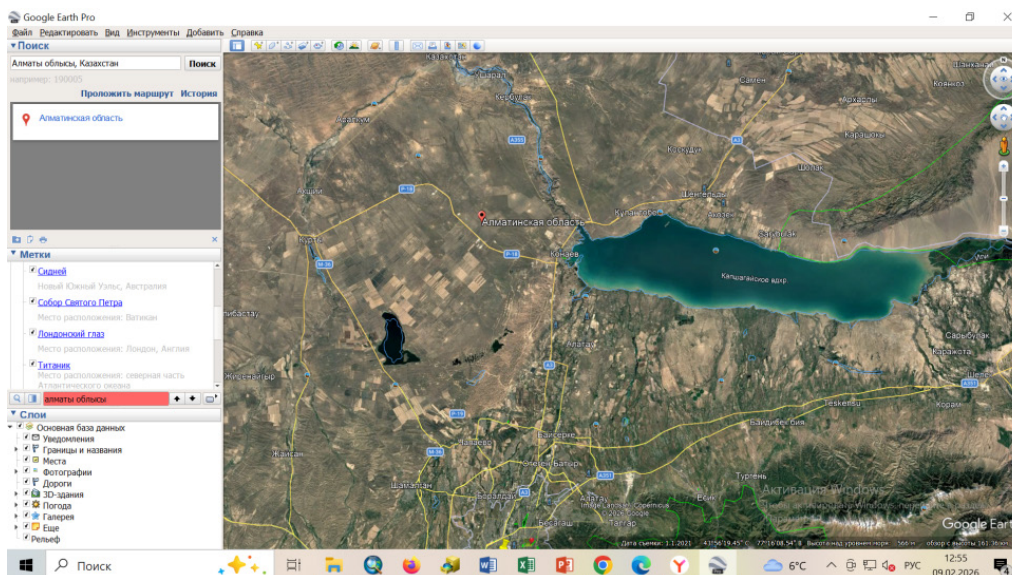
Шетелдік тәжірибе және Қазақстанға бейімдеуде Эстониядағы жер кадастры жүйесі –жерді тіркеу процестерінің ашықтығы қамтамасыз етілген. Сингапурдың Ақылды қала моделі- цифрлық карталар мен жасанды интеллект аумақтық дамуды болжау үшін қолданылады. Оңтүстік Кореяның ГАЖ технологиялары–жер ресурстарын басқару мен инфрақұрылымдық жобаларды оңтайландыруға көмектеседі [Tólegen et al., 2023: 40]. 2-кестеде Алматы облысындағы цифрландыру деңгейі мен шетелдік тәжірибені салыстыру көрсетілген. Алматы облысында цифрландыру енгізілгенімен, жүйе толық автоматтандырылмаған: жер кадастры әлі де қағазбен жұмыс істейді, ГАЖ толық интеграцияланған емес, жеке сектордың кейбір жерлері тіркелмеген. Деректер мемлекеттік органдар арқылы шектеулі қолжетімді, құқықтық реттеу де толық жетілмеген, ал ауылдық жерлерде интернет инфрақұрылымы әлсіз. Салыстырмалы түрде, Эстония мен Оңтүстік Кореяда 100% цифрлық кадастр жүйесі бар: барлық жер телімдері онлайн тіркелген, геоақпараттық карталар толық енгізілген, деректер ашық порталдар арқылы қолжетімді, заңдық база толық реттелген және интернет инфрақұрылымы ел бойынша жоғары жылдамдықты [Qazaqstan Respýblikasy Tsifrlyq damu, innovatsiıalar jáne aerogarysh ónerkásibi mınıstrligi. Memleketтік baǵdarlama ‘Tsifrlyq Qazaqstan, 2022].

Кесте 2 – Алматы облысындағы цифрландыру деңгейін салыстыру критерийі

№	Салыстыру критерийі	Алматы облысындағы жағдай	Шетелдік тәжірибе (Эстония, Оңт. Корея)
1	Цифрландыру деңгейі	Алматы облысында жер кадастры жүйесі енгізілгенімен, барлық деректер әлі толық цифрланбаған. Қағазбен жұмыс істеу әлі де бар	Эстония мен Оңтүстік Кореяда 100% цифрлық кадастр жүйесі бар. Барлық жер учаскелері онлайн тіркелген, жылдам өңделеді
2	ГАЖ (геоақпараттық жүйелер)	ГАЖ қолданылып жатыр, бірақ толық интеграция жасалмаған. Жеке сектордың кейбір жерлері кадастрға енгізілмеген.	Барлық жерлер онлайн картаға енгізілген
3	Деректердің қолжетімділігі	Мемлекеттік органдар арқылы шектеулі түрде қолжетімді	Ашық порталдар арқылы халыққа қолжетімді
4	Құқықтық реттеу	Әлі де заңдық мәселелер бар	Заңдық база толық жетілдірілген
5	Интернет инфрақұрылымы	Қалада жақсы, ауылды аймақтарда әлсіз	Барлық ел бойынша жоғары жылдамдықты интернет

Алматы облысында инфрақұрылым дамымаған, бұл әсіресе ауылдық жерлерде интернет жылдамдығының төмендігімен байланысты. Бұл мәселені шешу үшін интернет желісін кеңейту және жаңа базалық станциялар салу қажет. Сонымен қатар, жер телімдерінің мәліметтері толық цифрланбаған, себебі архивтік құжаттар ескі форматта сақталған. Мұны шешу үшін мәліметтерді жедел түрде цифрлық форматқа көшіру қажет. Сондай-ақ, кадастрлық деректердің ашықтығы төмен, бюрократиялық кедергілер бұл мәселені қиындатады. Шешу жолы ретінде ашық мәліметтер базасын құру ұсынылған [Qashqynbai et al., 2024: 65].

2-суретте Алматы облысының аумағының геоақпараттық көрінісі көрсетіліп, онда Қапшағай су қоймасы мен оған іргелес елді мекендердің аумақтық ұйымдасуы мен жер пайдалану құрылымы бейнеленген.



Сур. 2. Алматы облысының аумағының геоақпараттық картасы
[Fig. 2. Geoinformation Map of Almaty Region]

Цифрлық технологиялар елді мекен жерлерін жоспарлауда үлкен өзгерістер әкелді. Бұрын бұл процесс қағаз жүзінде, күрделі әрі ұзақ уақыт алатын болса, қазір интерактивті карталар, ГАЖ және автоматтандырылған кадастрлық жүйелер арқылы жылдам әрі тиімді шешімдер қабылдауға мүмкіндік бар [Qazaqstan Respyblikasynan Jer kodeksi, 2002: 151]. Алматы облысы – Қазақстанның экономика-лық және әлеуметтік тұрғыдан ең қарқынды дамып келе жатқан аймақтарының бірі. Электрондық жер кадастры – жер телімдері туралы мәліметтер цифрлық форматқа көшіріліп, eGov.kz және «Жылжы-майтын мүлік регистрі» арқылы онлайн қызметтер көрсетіледі. ГАЖ-технологиялар – облыстағы жер телімдерін картаға түсіру, урбанизация процестерін болжау мақсатында интерактивті карталар қолданылады. Жер ресурстарын ғарыштық мониторингтеу – Алматы облысының ауыл шаруашылығы аймақтарында егістік жерлердің жағдайын бақылау үшін спутниктік деректер пайдаланылады. Интел-лектуалды көлік жүйелері – Алматы қаласы мен облыс аудандарында ақылды бағдаршамдар мен жол қозғалысын басқару жүйелері енгізіліп жатыр [Almaty oblusu ákimdiginiń resmi saity, (28.12.2026)].

Цифрландыру жағдайында Алматы облысы аумағындағы елді мекен жерлерін ұйымдастыру жер ресурстарын тиімді басқарудың маңызды бағыты болып табылады. Облыс аумағында урбанизация үдерісінің қарқынды жүруі, халық санының артуы және инфрақұрылымға түсетін жүктеменің өсуі жерді жоспарлау мен пайдалануды жаңа деңгейде ұйымдастыруды талап етеді. Қазіргі таңда облыста геоақпараттық жүйелер (ГАЖ), цифрлық кадастр және қашықтықтан зондау технологиялары кеңінен енгізілуде. Бұл жүйелер жер учаскелерінің шекараларын нақты белгілеуге, олардың құқықтық мәртебесін тіркеуге және жер пайдаланудың мониторингін жүргізуге мүмкіндік береді. Әсіресе, елді мекендердің кеңею аймақтарын анықтауда және жерді аймаққа бөлу кезінде цифрлық карталардың маңызы зор. Алматы облысында жер қатынастары саласында электрондық үкімет жүйесі арқылы көрсетілетін қызметтер де дамып келеді. Жер учаскесін рәсімдеу, кадастрлық мәліметтерді алу және салық есептеу процестері автоматтандырылып, тұрғындар үшін қолжетімді әрі ашық болуда. Бұл сыбайлас жемқорлық тәуекел

дерін азайтып, мемлекеттік қызметтердің сапасын арттырады. Сонымен қатар, цифрландыру ауылдық және қала маңындағы аумақтарды тиімді жоспарлауға мүмкіндік береді. Инженерлік инфрақұрылым-ды орналастыру, көлік желілерін дамыту және экологиялық аймақтарды сақтау мәселелері цифрлық де-ректер негізінде шешіледі. Дегенмен, облыста цифрландыруды толық жүзеге асыру үшін бірқатар мәселелер бар. Оларға деректердің толық еместігі, ақпараттық жүйелердің өзара интеграциясының жеткіліксіздігі және білікті мамандардың тапшылығы жатады. Цифрлық технологиялардың енгізілуі елді мекендерді аумақтық ұйымдастыру процестерін әлдеқайда тиімді және жылдам етті [United Nations Human Settlements Programme, 2021]. Көлік және инженерлік инфрақұрылымды дамыту – жолдар, су құбырлары, электр желілері мен кәріз жүйелерінің дұрыс орналасуын қамтамасыз ету. Экологиялық қауіпсіздік – жер ресурстарын сақтау, жасыл аймақтарды көбейту, ауаның, судың ластануын бақылау. Жер пайдалану ережелерін реттеу – жерді тиімді игеру мақсатында құқықтық және әкімшілік шараларды жүзеге асыру. Алматы облысында цифрлық технологияларды енгізу жер қатынастары мен инфрақұрылымды басқаруды жеңілдетеді. Дегенмен, толық цифрландыру үшін қосымша реформалар қажет. ГАЖ жүйелерін толыққанды енгізу – интерактивті карталар мен жер телімдерінің цифрлық дерекқорын жетілдіру мен мемлекеттік-жекеменшік әріптестікті арттыру – цифрландыруға инвестиция тартуды ұйымдастыру қажеттілігі туады. Цифрландыру жағдайында елді мекен жерлерін ұйымдастыру қазіргі заманғы жер қатынастары жүйесінің маңызды бағытына айналып отыр. Ақпараттық технологиялардың қарқынды дамуы жер ресурстарын басқару-дың тиімділігін арттыруға, деректердің ашықтығын қамтамасыз етуге және шешім қабылдау үдерістерін жеделдетуге мүмкіндік береді. Елді мекендер аумағын ұйымдастыруда геоақпараттық жүйелер (ГАЖ), қашықтықтан зондтау деректері және цифрлық кадастр ерекше рөл атқарады. Бұл тех-нологиялар жер учаскелерінің шекараларын нақты анықтауға, олардың құқықтық мәртебесін тіркеуге және жерді пайдаланудың мониторингін жүргізуге жағдай жасайды. Сонымен қатар, цифрлық карта-лар мен деректер базалары арқылы жер ресурстары туралы толық әрі өзекті ақпарат алуға болады. Цифрландыру жерді аймаққа бөлу процесін де жетілдіреді. Қалалар мен ауылдардың даму жоспарларын әзірлеуде цифрлық платформалар кеңінен қолданыла-ды. Бұл урбанизация үдерісін тиімді басқаруға, инфрақұрылымды дұрыс орналастыруға және эколо-гиялық тепе-теңдікті сақтауға көмектеседі [Zhildikbaeva et al., 2024: 65]. Сонымен қатар, электрондық үкімет жүйесі арқылы жер қатынастары саласында көрсетілетін мемлекеттік қызметтердің сапасы артып келеді. Жер учаскелерін рәсімдеу, тіркеу және салық есептеу процестері ав-томаттандырылып, азаматтар үшін қолжетімді әрі ашық болуда. Дегенмен, цифрландыруды енгізуде бірқатар мәселелер де бар. Оларға деректердің сапасы, ақпараттық жүйелердің өзара үйлесімділігі және мамандардың біліктілігі жатады. Осы мәселелерді шешу үшін кешенді тәсіл қажет. Цифрландыру елді мекен жерлерін тиімді ұйымдастырудың негізгі құралы болып табылады және ол жер ресурстарын басқарудың жаңа сапалық деңгейіне көшуге мүмкіндік береді.

Қорытынды.

Зерттеу нәтижелері цифрландыру елді мекен жерлерін тиімді ұйымдастырудың негізгі факторы екенін көрсетті. Алматы облысында цифрлық технологияларды енгізу қарқынды жүріп жатқанымен, әлі де бірқатар инфрақұрылымдық, ұйымдастырушылық және техникалық мәселелерді шешу қажет. Елді мекен жерлерін тиімді басқару үшін мемлекеттік органдар мен жеке сектордың өзара ынтымақтастығы маңызды. Қазақстанда цифрландыруды одан әрі дамыту жер ресурстарын ұтымды пайдалану мен урбанизацияны басқаруда шешуші рөл атқарады. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, цифрландыру елді мекен жерлерін аумақтық ұйымдастыруды жетілдірудің маңызды құралы болып табылады. ГАЖ, электрондық кадастр, ғарыштық мониторинг және Ақылды қала технологиялары жер ресурстарын тиімді басқаруға, инфрақұрылымды оңтайландыруға және мемлекеттік қызметтерді автоматтандыруға мүмкіндік береді. Алматы облысы мысалында жүргізілген талдау елді мекендерді цифрландырудың оң әсерлерін, сондай-ақ шешуді талап ететін негізгі мәселелерді айқындады. Қазіргі уақытта электрондық кадастр жүйесі енгізілгенімен, толық цифрландыру процесі баяу жүріп жатыр. Сонымен қатар, интернет инфрақұрылымының жеткіліксіздігі, деректердің үйлесімділігі төмен жүйелер, кадастрлық ақпараттың ашықтығының жеткіліксіздігі сияқты проблемалар бар.

Жалпы алғанда, цифрлық технологияларды белсенді пайдалану жер ресурстарын тиімді пайдалануға, урбанизацияны дұрыс басқаруға және мемлекеттік басқару жүйесінің ашықтығын

қамтамасыз етуге көмектеседі. Сондықтан, цифрландыру елді мекендердің тұрақты дамуы мен Қазақстанның аймақтық саясатын жетілдірудің басты бағыттарының бірі болып табылады.

REFERENCES

- Junusov, B.A., Zhubanazarov, S.A. (2024). “Ekonomikany tsifrlandyru jáne qalalary basqardyń jańa model’deri.” Vestnik Aktyýbinskogo regional’nogo ýniversiteta imeni K. Zhúbanova, 2024, 62(4) <https://doi.org/10.51889/2020-4.kz> [in Kaz.]
- Qazaqstan Respýblıkasy Últtyq statistika byýrosy. “Halıq sany statistikasy.” [<https://stat.gov.kz>] (05.01.2025) [in Kaz.]
- Qanatqyzy, B., Sábitúly, M., Zhúmahan, N.B., Il’yasov, E.S. (2022). “Qazaqstan Respýblıkasyndaǵy aýyl sharýashylyǵyn avtomattandyryǵ jáne tsifrlandyru máseleleri.” Foundations and Trends in Research, 2022(1) <https://doi10.5281/zenodo.7396104>. [in Kaz.]
- Tólegen, Zh.Zh., Pomorov, S.B., Isabaev, G.A. (2023). Qalanyń úsh ólshemli tsifrlyq modelin ázirleý jáne onyń qalalyq ortaǵa ásseri // Vestnik KazGASA, 2023. <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2023.1-12>[in Kaz.]
- Baideldinov, D.L., Aigarinova, G.T., Akshataeva, Zh.B., Rasheva, G.K. (2024). Qazaqstan Respýblıkasynda tsifrlandyru jaǵdaynda qolailly qorshaǵan ortaǵa qúqyqty júzege asyru máseleleri // QazÚU Habarshysy. Zan seriiasy, 2024, 109(1), 86–97. <https://doi.org/10.26577/JAPI202410919>[in Kaz.]
- Sapakova, S., Paizolla, A. (2021). Shymkent qalasynyń kenttený procesin modeldeý // Vestnik KazGASA, 2021 <https://doi.org/10.51488/1680-080X/2021.1-43>[in Kaz.]
- Tólegen, Zh.Zh., Pomorov, S.B., Isabaev, G.A. (2023). Sozdanie 3D-modeli goroda i eń vliyanie na gorodskuyu sredu // Vestnik KazGASA, 2023. [<https://vestnik.kazgasa.kz>] [in Russ.]
- Qazaqstan Respýblıkasy Tsifrlyq damu, innovatsiialar jáne aeroǵarysh ónerkásibi mınıstrligi. Memlekettik baǵdarlama Tsifrlyq Qazaqstan. A., 2022. <https://www.gov.kz/memleket/entities/mdai?lang=ru> (05.01.2025) [in Kaz.]
- Qashqynbai, D.S., Shamysheva, N.K. (2024). “Tsifrlandyru sharalary jáne qorshaǵan orta // Eýrasiia últtyq ýniversiteti. 2024. <https://enu.kz/kz/news/3846> (05.01.2025) [in Kaz.]
- Qazaqstan Respýblıkasyndań Jer kodeksi. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K030000442> (29.12.2026)[in Kaz.]
- Almaty oblysy ákimdiginiń resmi saıty. [<https://www.gov.kz/memleket/entities/almaty-oblysy?lang=kk>] (28.12.2026)
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). Smart Cities and Urban Planning in Central Asia // The Case of Kazakhstan. UN-Habitat, 2021. eISBN 978-92-1-358679-2[in Eng.]
- Zhildikbaeva A., Zhyrǵalova Ə., Baukhan A., Ajtkhozhaeva G., & Molzhigitova D. (2023). Obzor narushennykh zemel’ respubliki kazakhstan // Izdenister Natigeler, (3 (99), 319–326. <https://doi.org/10.37884/3-2023/32>[in Kaz.]

Қалиева М.С.– зерттеу әдістері, зерттеу нәтижелері және оларды талқылау, Алматы облысының геоақпараттық жүйелерін, цифрландыруды енгізудің негізгі мәселелерін сараптау.

Серикбаева Г.К. – материалдар мен зерттеу әдістері, аналитикалық әдістер, салыстырмалы талдау әдістері.

Ахметкеримова Г.Е. – мәліметтерді тексеру және жүйелеу, ғылыми мақаланы журналдың талаптарына сәйкестендіру.



K. Narbayeva¹, A. Tairov¹, G. Ismailova², F. Madenova³ A. Tolstikov⁴

¹Institute of Geography and Water Security, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

³Aral-Syrdarya water basin inspection for regulation of water resources management and use, Shymkent, Kazakhstan;

⁴Northern Water Problems Institute KarRC RAS, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia.

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com

ANALYSING WATER BALANCE OF THE SYRDARYA RIVER RESERVOIRS UNDER WATER STRESS CONDITIONS

Karakoz Narbayeva, PhD, Institute of Geography and Water Security, laboratory of water supply of natural-economic systems and mathematical modeling named I.M. Malkovsky. Kazakhstan, 050000, Almaty, Seifullin Avenue, 458/1

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0235-3312>;

Amrazhan Tairov, Candidate of Geological Sciences, Institute of Geography and Water Security, laboratory of water supply of natural-economic systems and mathematical modeling named I.M. Malkovsky. Kazakhstan, 050000, Almaty, Seifullin Avenue, 458/1

E-mail: amra2005@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-4407-6328>;

Gauharkul Ismailova, Г.Ғ.К., Kazakh National Agrarian Research University. Kazakhstan, 050010, Almaty, Abay Avenue, 8Г/5

E-mail: gismailova77@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4038-8544>;

Fariza Madenova, Aral-Syrdarya water basin inspection for regulation of water resources management and use. Kazakhstan, Kyzylorda region, Kyzylorda, Amangeldy Imanov st., 107

E-mail: fariza.bolat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5904-5703>;

Alexey Tolstikov, Candidate of Geological Sciences, Head of the Laboratory of Geography and Hydrology, Northern Water Problems Institute KarRC RAS, Russia, Republic of Karelia, 185030, Petrozavodsk, Aleksander Nevsky st., 50

E-mail: alexeytolstikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7690-3404>.

Abstract. The current challenges in water use, including climate change, are increasing water consumption and degradation of aquatic ecosystems, necessitating the search for sustainable solutions in water management. Under these conditions, reservoirs continue to be the main and, in fact, the only effective tool for regulating water flow in the long-term outlook. Their importance is especially growing under conditions of arid climate and high variability of river flow, which are characteristic of the Syrdarya River basin, one of the most vulnerable regions in terms of ecology and water management. Hydraulic structures provide regulation and distribution of runoff, which is the basis for sustainable water supply for various sectors of the economy, including drinking water supply and ‘green’ energy. In this regard, there is an increasing need for regular assessment of the water balance of reservoirs as a tool for optimising water distribution and reducing water risks. Within the framework of this study, calculations on water resources management were analyzed, and the results showed a positive water balance in all Shardara, Badama, Bugun, Kapshagai, and Koshkurgan reservoirs, which indicates the accumulation of water resources and confirms the effectiveness of reservoir systems. Reservoirs function at the limit of their regulating capacity, which requires the introduction of flexible and adaptive management regimes. In this connection, there is a growing need to improve methods of water regulation, optimise resource allocation, and regular monitoring of water balance, taking into account changing natural, climatic, and anthropogenic conditions within the basin under consideration.

Keywords: reservoir storage, water-balance method, water management calculations, flow regulation, water distribution

For citation: Narbayeva K., Tairov A., Ismailova G., Madenova F., Tolstikov A. (2026). Analysing water balance of the syrdarya river reservoirs under water stress conditions // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 169–179. <https://doi.org/10.37884/3-2026/14> [in Eng.].

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

К.Т. Нарбаева¹, А.З. Таиров¹, Г.К. Исмаилова², Ф.Б. Маденова³, А.В. Толстиков⁴

¹География және су қауіпсіздік институті, Алматы Қазақстан;

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан;

³Су ресурстарын қорғау және пайдалануды реттеу жөніндегі Арал-Сырдария бассейндік су инспекциясы;

⁴Солтүстік су мәселелері институты, Ресей ғылым академиясының Карел ғылыми орталығы, Петрозаводск, Карелия Республикасы, Ресей.

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com

СЫРДАРИЯ ӨЗЕНІНДЕГІ СУ ҚОЙМАЛАРЫНЫҢ СУ БАЛАНСЫН СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ КҮЙЗЕЛІСІ ЖАҒДАЙЫНДА ТАЛДАУ

Нарбаева Каракоз Турсынбековна, PhD, География және су қауіпсіздік институті, И.М. Мальковский атындағы табиғи-шаруашылық жүйелерді сумен қамтамасыз ету және математикалық модельдеу зертханасы. Қазақстан, 050000, Алматы қаласы, Сейфуллин даңғылы, 458/1

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0235-3312>;

Таиров Амражан Закирович, г.ғ.к., География және су қауіпсіздік институті, И.М. Мальковский атындағы табиғи-шаруашылық жүйелерді сумен қамтамасыз ету және математикалық модельдеу зертханасы. Қазақстан, 050000, Алматы, Сейфуллин даңғылы, 458/1

E-mail: amra2005@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-4407-6328>;

Исмаилова Гаухаркуль Кулпыбековна, г.ғ.к., Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті. Қазақстан, 050010, Алматы, Абай даңғылы, 8г/5

E-mail: gismailova77@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4038-8544>;

Маденова Фариза Болатовна, Су ресурстарын қорғау және пайдалануды реттеу жөніндегі Арал-Сырдария бассейндік су инспекциясы» РММ. Қазақстан, 120008, Кызылорда облысы, Кызылорда, Амангельды Иманов көш., 107

fariza.bolat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5904-5703>;

Алексей Владимирович Толстиков, г.ғ.к., Солтүстік су мәселелері институты, Ресей ғылым академиясының Карел ғылыми орталығы, География и гидрология зертханасының жетекшісі. Ресей, Карелия Республикасы, 185030, Петрозаводск, Александр Невский даңғылы, 50 E-mail: alexeytolstikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7690-3404>.

Аннотация. Су пайдалану саласындағы заманауи сын-қатерлер, сонымен қатар климаттың өзгеруі, су тұтынудың өсуін және су экожүйелерінің деградациясын ескере, су ресурстарын басқаруда тұрақты шешімдерді іздеуді қажет етеді. Бұл жағдайда су қоймалары ұзақ мерзімді перспективада су ағындыны реттеудің негізгі және шын мәнінде жалғыз тиімді құралы болып қала береді. Олардың маңызы әсіресе құрғақ климат жағдайында және өзен ағындының жоғары өзгергіштігі жағынан ең осал аймақтардың бірі – Сырдария өзенінің алабына тән артып келеді. Гидротехникалық құрылыстар ағынды суларды реттеуді және бөлуді қамтамасыз етіп, бұл экономиканың әртүрлі салаларын, соның ішінде ауыз сумен жабдықтауды және «жасыл» энергетиканы тұрақты сумен қамтамасыз етудің негізі болып табылады. Осыған байланысты су таратуды оңтайландыру және су тәуекелдерін азайту құралы ретінде су қоймаларының су балансын үнемі бағалау қажеттілігі артып келеді. Осы зерттеу шеңберінде өңірдің негізгі су қоймалары бойынша талдаулар жүргізіліп, нәтижелер Шардара, Бадам, Бөген, Қапшағай және Қошқорған су қоймаларында оң балансын көрсетті, бұл су ресурстарының жинақталғанын көрсетіп, су қоймалары жүйелерінің тиімділігін растайды. Су қоймалары икемді және бейімделгіш басқару режимдерін енгізуді талап ететін реттеу қабілетінің шегінде жұмыс істейді. Осыған байланысты су шаруашылығын реттеу әдістерін жетілдіру, ресурстарды бөлуді оңтайландыру және қарастырылып отырған су алабы шегіндегі өзгермелі табиғи-климаттық және антропогендік жағдайларды ескере отырып, су балансының тұрақты мониторингі қажеттілігі артып келеді.

Түйін сөздер: суды жинақтау, су қоймасы, су балансы әдісі, су шаруашылығы есептеулері, ағындыны реттеу, ағынды үлестірілімі

Дәйексөз үшін: Нарбаева К.Т., Таиров А.З., Исмаилова Г.К., Маденова Ф.Б., Толстиков А.В. (2026). Сырдария өзеніндегі су қоймаларының су балансын су шаруашылығы күйзелісі жағдайында талдау // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 169–179. <https://doi.org/10.37884/3-2026/14> [In Eng.]

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

К.Т. Нарбаева¹, А.З. Таиров¹, Г.К. Исмаилова², Ф.Б. Маденова³, А.В. Толстиков⁴

¹Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан;

³Арало-Сырдарийнская бассейновая инспекция по регулированию использования и охраны водных ресурсов, Шымкент, Казахстан;

⁴Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия.

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com

АНАЛИЗ ВОДНОГО БАЛАНСА ВОДОХРАНИЛИЩ РЕКИ СЫРДАРЬЯ В УСЛОВИЯХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО СТРЕССА

Нарбаева Каракөз Тұрсынбековна, PhD, Институт географии и водной безопасности, лаборатория водообеспечения природно-хозяйственных систем и математического моделирования имени И.М. Мальковского. Казахстан, 050000, Алматы, проспект Сейфуллина, 458/1

E-mail: narbayeva.kn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0235-3312>;

Таиров Амражан Закирович, к.г.н., Институт географии и водной безопасности, лаборатория водообеспечения природно-хозяйственных систем и математического моделирования имени И.М. Мальковского. Казахстан, 050000, Алматы, проспект Сейфуллина, 458/1

E-mail: amra2005@list.ru, <https://orcid.org/0009-0001-4407-6328>;

Исмаилова Гаухаркуль Кулпыбековна, г.ғ.к., Казахский национальный аграрный исследовательский университет. Казахстан, 050010, Алматы, проспект Абая, 8г/5

E-mail: gismailova77@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4038-8544>;

Маденова Фариза Болатовна, РГУ «Арало-Сырдарийнская бассейновая инспекция по регулированию использования и охраны водных ресурсов». Казахстан, 120008, Кызылординская область, Кызылорда, ул. Амангельды Иманов, 107

E-mail: fariza.bolat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5904-5703>;

Алексей Владимирович Толстиков, к.г.н., Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, руководитель лаборатории географии и гидрологии. Россия, Республика Карелия, 185030, г. Петрозаводск, пр. Александра Невского, 50

E-mail: alexeytolstikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7690-3404>.

Аннотация. Современные вызовы в сфере водопользования, включая изменение климата, рост водопотребления и деградацию водных экосистем, обуславливают необходимость поиска устойчивых решений в управлении водными ресурсами. В этих условиях водохранилища продолжают оставаться основным и, по сути, единственным эффективным инструментом регулирования водного стока в долгосрочной перспективе. Их значение особенно возрастает в условиях засушливого климата и высокой изменчивости речного стока, характерных для бассейна реки Сырдарья – одного из наиболее уязвимых в экологическом и водохозяйственном отношении регионов. Гидротехнические сооружения обеспечивают регулирование и распределение стока, что является основой устойчивого водообеспечения различных отраслей экономики, включая питьевое водоснабжение и «зеленой» энергетике. В этой связи возрастает необходимость регулярной оценки водного баланса водохранилищ как инструмента оптимизации водораспределения и снижения водных рисков. В рамках данного исследования были проанализированы расчеты по управлению водными ресурсами, и результаты показали положительный водный баланс во всех водохранилищах – Шардаринском, Бадамском, Бугунском, Капшагайском и Кошкурганском, что свидетельствует о

накоплении водных ресурсов и подтверждает эффективность систем водохранилищ. Водохранилища функционируют на пределе своей регулирующей способности, что требует внедрения гибких и адаптивных режимов управления. В связи с этим возрастает необходимость совершенствования методов водохозяйственного регулирования, оптимизации распределения ресурсов и регулярного мониторинга водного баланса с учетом изменяющихся природно-климатических и антропогенных условий в пределах рассматриваемого бассейна.

Ключевые слова: аккумуляция водохранилища, водно-балансовый метод, водохозяйственные расчеты, регулирование стока, водораспределение

Для цитирования: Нарбаева К.Т., Таиров А.З., Исмаилова Г.К., Маденова Ф.Б., Толстиков А.В. (2026). Анализ водного баланса водохранилищ реки Сырдарья в условиях водохозяйственного стресса // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Рр. 169–179. <https://doi.org/10.37884/3-2026/14> [In Eng.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

In recent years, more and more attention has been paid to nature-oriented approaches aimed at restoring and maintaining natural water exchange processes. However, implementation of such solutions does not provide full functional coverage of flow regulation and distribution tasks, especially in regions with pronounced water stress (Dukhovny, 2001).

Under these conditions, reservoirs, as engineering structures, continue to be the main and, in fact, the only effective tool in river flow management, providing the possibility of both inter-seasonal and multi-year regulation. Their importance is especially growing in arid and semi-arid regions with high inter-annual and seasonal variability of water flow, which includes the Syrdarya river basin. The region is traditionally characterised by a high level of anthropogenic pressure on water resources and vulnerability of water balances (Rakhmatov, 2023; A. Karimov et al., 2010).

Taking into account climatic changes, tendencies to decrease natural runoff, and increasing water demand, regular assessment of the water balance of reservoirs becomes an important feature. Such assessment is necessary to optimise water distribution regimes, improve resource management efficiency, minimise water risks, and adapt to new climatic realities (Sorg et al. 2014).

The construction of reservoirs, especially for long-term water regulation, has a very significant impact on the runoff and reduces the risk of flooding of territories. As a result, a long series of observations turns out to be inhomogeneous. The current situation and the degree of flood hazard are characterized by the 2-end part of the series after the creation of a large reservoir or its entire cascade. In the following work, the issues of reservoir construction and their effect on the maximum runoff as well as on the flooding of territories are considered (Kasabekov et al., 2023; Burlibayev et al., 2001; Zaurbek, 2016).

Therefore, to ensure the efficient utilization of water resources, it is essential to evaluate the water balance of the Syrdarya River reservoirs using information-analytical data that reflect their annual variations. Also requires optimizing water allocation for irrigation, reducing losses through evaporation and seepage, and coordinating reservoir operations across national borders to ensure equitable and sustainable water distribution. The geographical location of the research area is shown in (Figure 1).

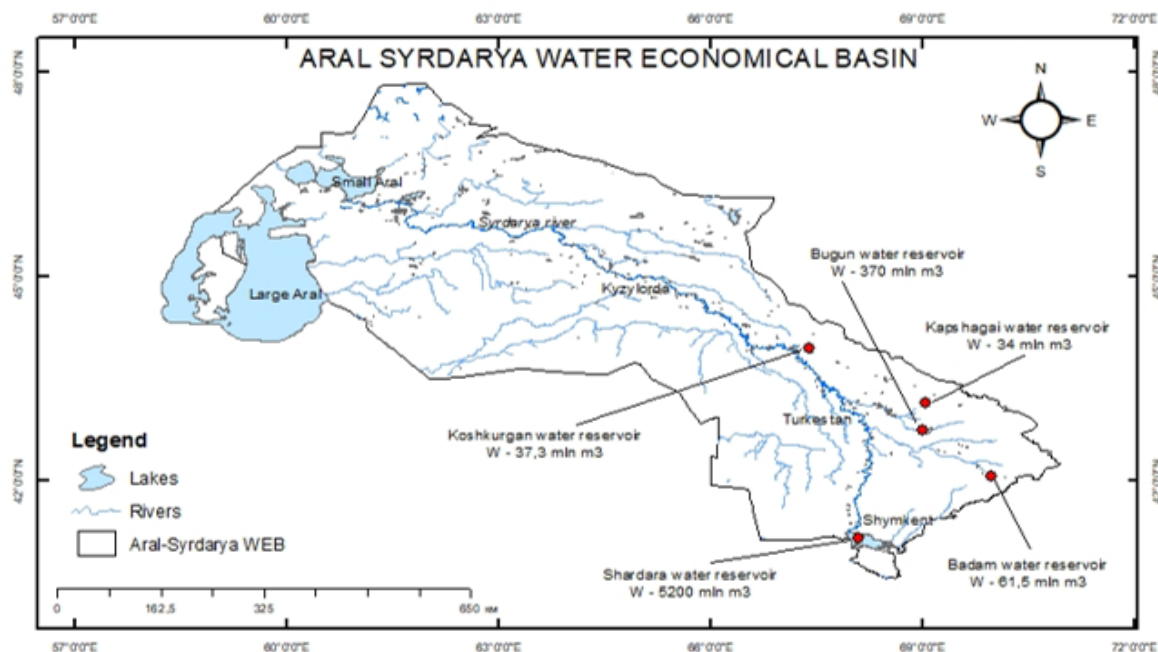


Fig. 1. Scheme of the Aral-Syrdarya watershed and the location of main reservoirs in the basin

The largest reservoir is the Shardara water reservoir on the Syrdarya river with a designed usable capacity of 5200 mln m³. The Shardara water reservoir is used for irrigation and power generation, where smaller reservoirs with usable capacity of 0.3 to 365 mln m³ are mainly used for irrigation (Water resources of Kazakhstan, 2012; Toqeer et al., 2021).

In 2010, the Koksaray flood control reservoir with a usable capacity of 2.5 km³ was constructed. It is designed to protect the lower reaches of the Syrdarya River from floods.

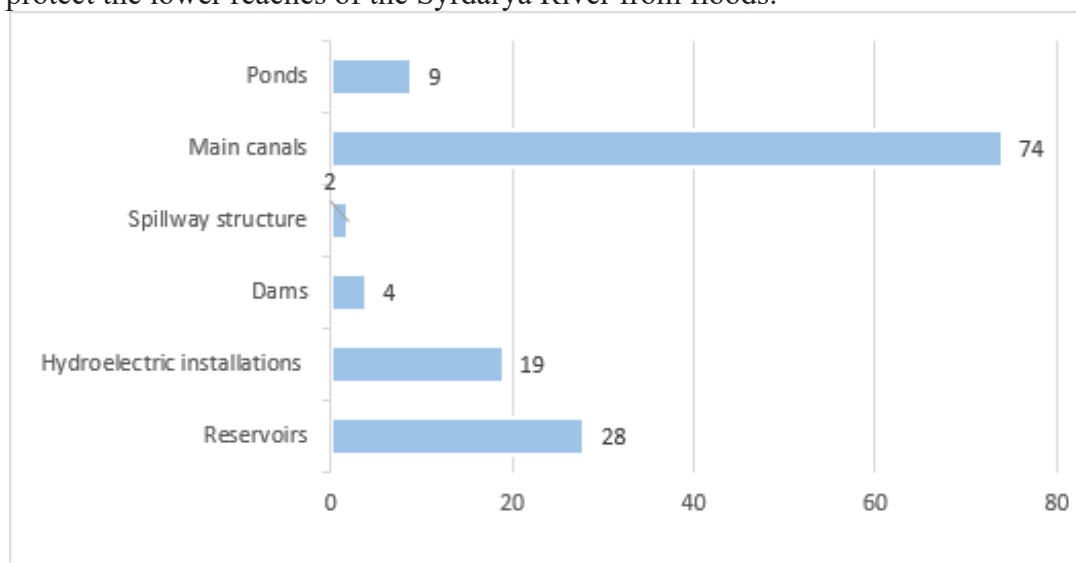


Fig. 2. Number of hydraulic structures of the Syrdarya River

There are 136 hydraulic structures in the Aral-Syrdarya river basin (in South Kazakhstan province - 102 HS, in Kyzylorda province - 34 HS), among them, in republican ownership - 65, in communal ownership - 52, in private ownership – 19, which can be seen in (figure 2) (Mussina et al, 2023).

Materials and methods.

The study of the consequences of large reservoir formation is of great scientific interest and has important practical significance in solving problems of rational use and protection of water resources. The solution is based on the study of the regularity of water resources formation in reservoirs, their influence on river runoff, and characteristics of reservoir water balance.

Water balance calculations, based on which quantitative and qualitative indicators of the current and future state of water resources in reservoirs are formed, are an effective means of solving water problems in

different water management administrations and economies.

The balance equation for some time interval Δt is as follows (Ismailylova, 2024; Kuznetsov, 2018; Arseniev, 1993):

$$Q+X-E=\pm\Delta W \quad (1)$$

where Q - river runoff; X - precipitation; E - evaporation from the water surface; ΔW - change in water volume over the same time period.

It follows from the equation that if the inflow part of the balance is less than the outflow part $Q+X<E$, the water volume in the water body will decrease in time (i.e., $\Delta W<0$), while at the other ratio ($Q+X>E$) it will increase (i.e., $\Delta W>0$).

To assess the dynamics of the state studied water body in time, the balance equation (1) is used as:

$$B^T = W_{(n+1)} = Q_n + W_n + X_n - E_n - V_n \quad (2)$$

where, B^T – water balance; $W_{(n+1)}$ – volume for the design year; Q_n – annual inflow volume; W_n – volume for the previous year; V_n – total runoff withdrawal volume; X_n и E_n – precipitation and evaporation volumes depending on the water surface area of the object; n - design time series (year).

In equation (2), precipitation falling on the water surface (X) and evaporation from it (E) can be replaced by evaporation (E_e).

Along with graphical methods, the tabular method of flow regulation calculation is applied, which is reduced to solving the reservoir balance equation. For time interval Δt , the balance equation is as follows:

$$\pm \Delta V = Qa\Delta t = (Q_{inf} - Q) \Delta t = [Q_{inf} - (Q_u + Q_c + Q_{loss})] \Delta t \quad (3)$$

where ΔV - change in reservoir filling (accumulation). A plus (+) sign corresponds to an increase in reservoir filling, a minus (-) sign to a decrease (drawdown); Qa - accumulation runoff rate, i. e. the difference between the inflow runoff rate Q_{inf} and the regulated gross flow rate Q ; Q_u - used runoff rate; Q_{idf} - idle discharge flow; Q_{loss} - total flow rate of water losses and withdrawals from the reservoir (SCIWRM. 2008; MSCWB, 1981, Bakhtiyarov. 1961).

Results and discussion.

Reservoirs in the study area mainly serve to provide water to irrigated fields. Irrigation contributes to an increase in soil fertility and, accordingly, an increase in yield. But it is necessary to take into account the fact that the irrational use of water and land resources (super-large anthropogenic load) can negatively affect the entire ecosystem and lead to land degradation and biodiversity loss.

In this regard, options for regulating the accumulated flow into the Shardara water reservoir are considered: conditions of multi-year and seasonal water regulation. The calculation results can be seen in the following (tables 3).

Table 1 – Shardara reservoir in the conditions of multi-year water regulation, mln m³

Years	Inflow to the water reservoir	Parameters of the water reservoir			Total water consumption, including environmental runoff	Balance
		F	Z	E		
2000	14460	730,0	252,3	788	13100	13600
2001	13730	545,8	250,0	589	13100	630
2002	21910	383,2	248,4	414	12600	9310
2003	27990	730,0	252,3	788	12300	15690
2004	23890	730,0	252,3	788	12900	11000
2005	22920	730,0	252,3	788	12500	10420
2006	16910	730,0	252,3	788	12700	4210
2007	18700	730,0	252,3	788	13000	5700
2008	12790	730,0	252,3	788	11700	1090
2009	15400	710,0	249,2	767	12400	3000
2010	25780	620,8	250,8	670	12600	16180
2011	13960	730,0	252,3	788	13600	360

2012	18720	420,8	250,7	454	14200	4520
2013	14340	730,0	252,3	788	14100	240
2014	18410	400,0	248,7	432	14100	4310
2015	15470	730,0	252,3	788	14400	1070
2016	13080	500,0	249,8	540	14100	-1020
2017	23290	324,9	244,5	351	14300	9000
2018	15850	730,0	252,3	788	14400	1450
2019	14840	715,0	250,5	772	14500	340

* The table does not include the indicators that are constants, but are taken into account when calculating the water balance, such as: non-rechargeable volume of the reservoir in the volume of 0.5 mln m³, as well as the runoff of formation above the design site. Regulation parameters: F – surface area, km²; Z – water level, m; E – evaporation volume from the reservoir surface, mln m³.

The graphical representation of changes in the water level of the Shardara reservoir is not very clear, as the graph is combined and is primarily intended for general visualization of the calculated data. However, actual fluctuations in water levels do exist and are significant. The water level of the Shardara reservoir does not remain constant throughout the year or between years.

The relationship between water level and area and volume is regular (correlated), which is typical for any water object. For example, according to Table 3, in 2007, at a level of 252,30 m above sea level, the reservoir surface area was 730.0 km², while in 2014, the level dropped to 248,70 m above sea level (by 3.6 m), the area decreased to 400.0 km², i.e., it decreased by approximately 1,8 times. This is illustrated in Figure 3, which shows how the balance in the water reservoir varies depending on the parameters, and it can also be seen that the reservoir level does not change much, but the surface area changes depending on the inflow to the reservoirs. So, we can say that the balance depends on the inflow and outflow of the reservoirs.

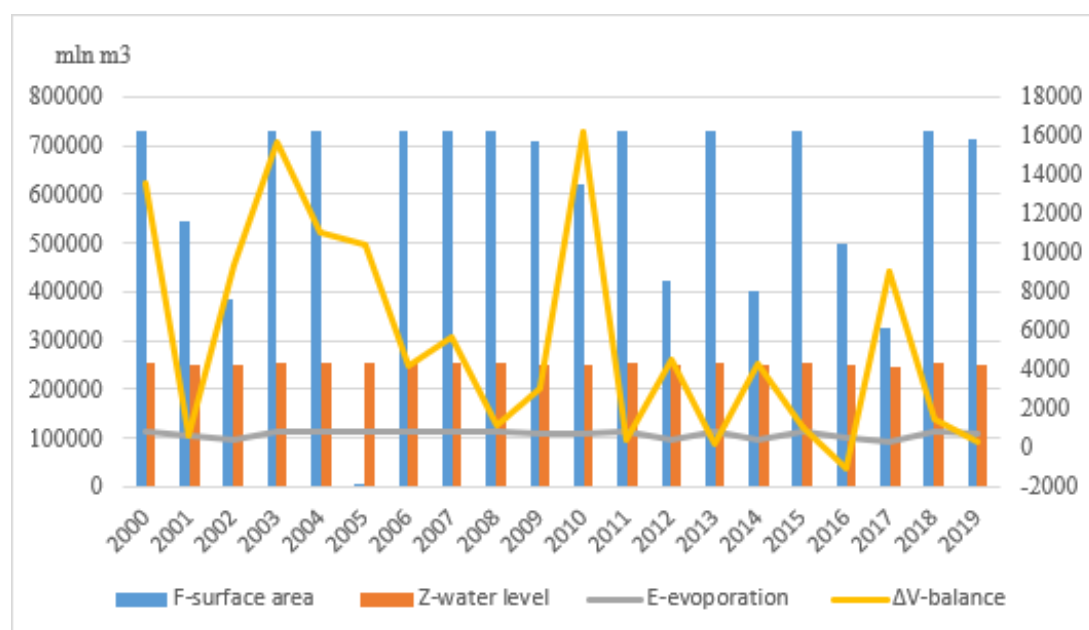


Fig. 3. Changes in the water balance of the Shardara reservoir depend on the parameters of the water reservoir

In the case of multi - year regulation of river flow, the water deficit during the 10 years was 12100 mln m³, and in the case of seasonal regulation - 16400 mln m³. The difference is 1.4 times more noticeable. Consequently, multi-year regulation of the Syrdarya river flow allows for more efficient management.

The analysis of the water balance of the Badam water reservoir indicates that its filling is almost entirely dependent on natural inflow, which amounted to 60,14 mln m³ (2021) and 61,27 mln m³ (2022). The total discharge from the reservoir was 52,96 mln m³ (2021) and 54,11 mln m³ (2022). A proportional breakdown is illustrated in Figure 4, and the distribution of water balance of the reservoir is as follows: 7,18 mln m³ (2021) and 7,16 mln m³ (2022).

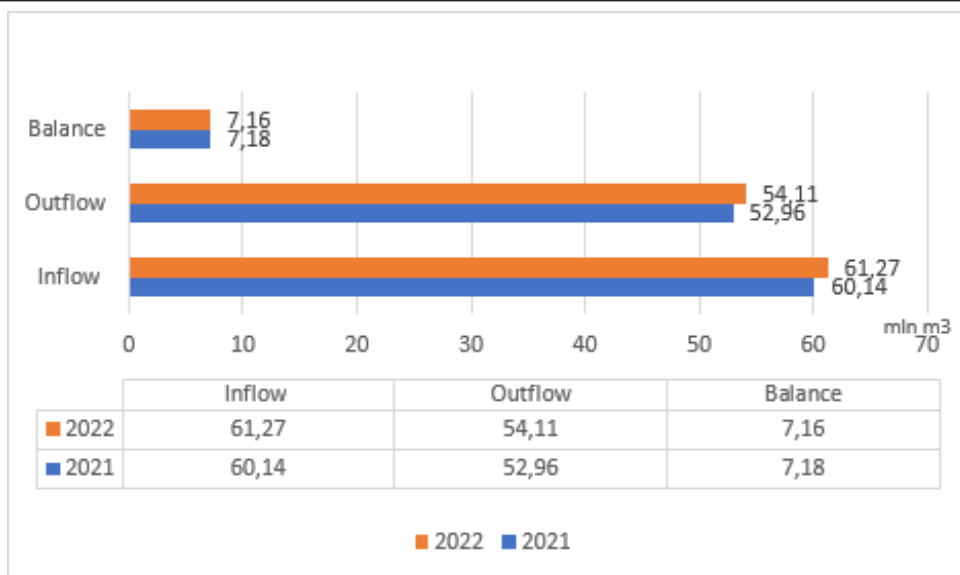


Fig. 4. Water balance of Badam water reservoir for 2021–2022 full volume-61.5 mln m³

This distribution reflects a relatively balanced system, with moderate storage increase, highlighting the reservoir's efficiency in managing water for irrigation while maintaining reserve capacity.

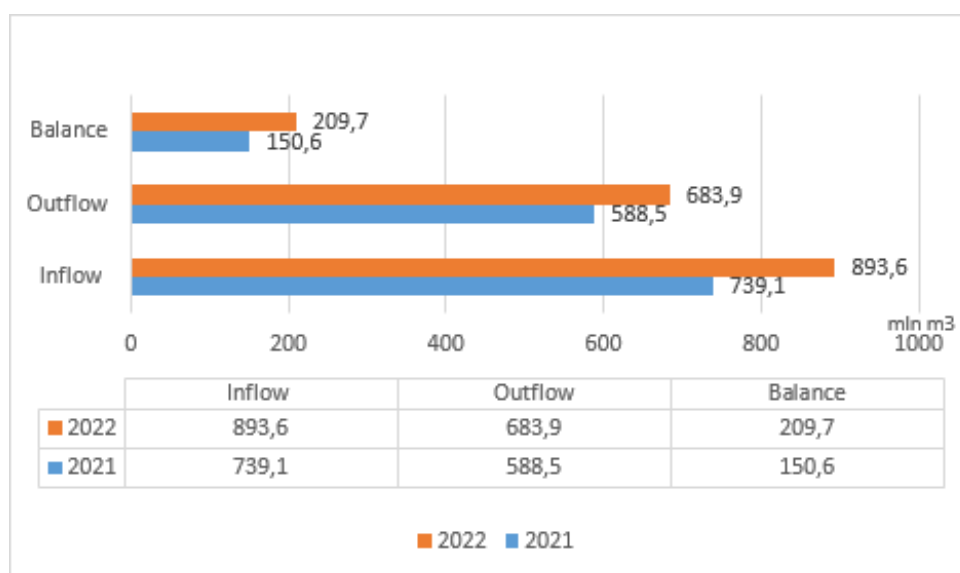


Fig. 5. Water balance of the Bugun water reservoir for 2021–2022 full volume-370 mln m³

Similar to the previous cases, the water balance analysis of the Bugun water reservoir shows that the primary source of reservoir filling is the natural inflow, which constitutes the main share of incoming water. The outflow primarily includes irrigation withdrawals and environmental (ecological) releases from the reservoir. The reservoir accumulation (ΔV) for the reporting period is positive, the water balance of the reservoir are 150,6 mln m³ (2021) and 209,7 mln m³ (2022), indicating a net gain in stored water. The proportional distribution of the water balance is shown in Figure 5. This balance reflects effective water management practices, with the reservoir successfully retaining a portion of the incoming water for future use.

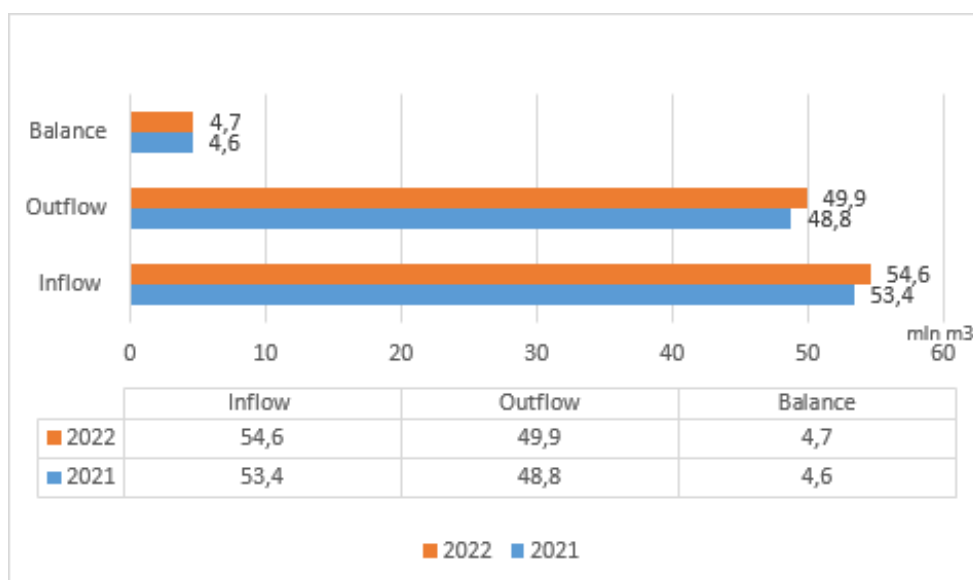


Fig. 6. Water balance of the Koshkurgan water reservoir for 2021-2022 full volume-37.3 mln m³

As in previous reservoir analyses, the Koshkurgan reservoir demonstrates positive accumulation in 2021–4,6 mln m³ and 4,7 mln m³ in 2022. Thus, the proportional distribution and water balance of the reservoir image are shown in Figure 6.

The results of the reservoir analysis show a moderate increase in reserves, which highlights the effectiveness in managing and regulating irrigation systems while maintaining reserve capacity.

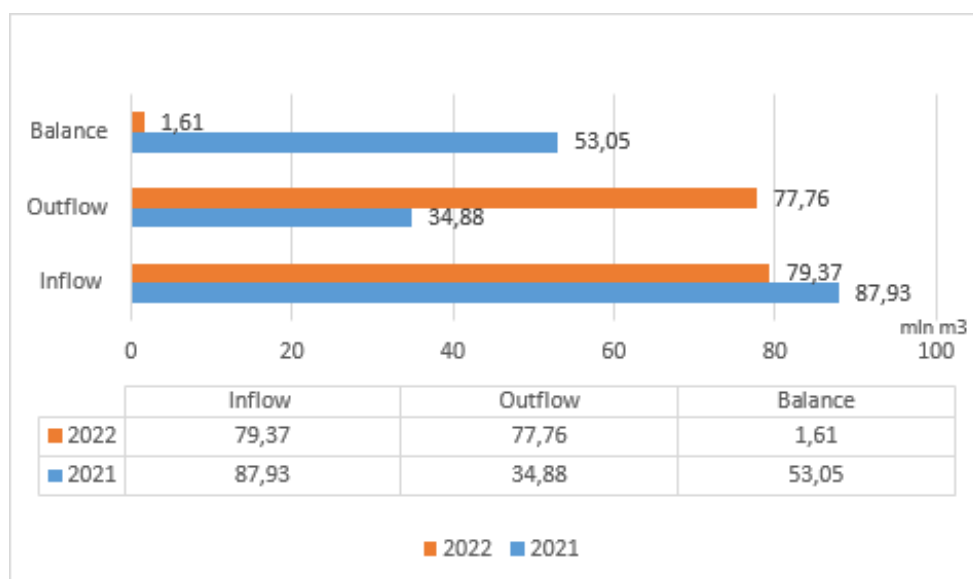


Fig. 7. Water balance of Kapshagai water reservoir for 2021–2022 full volume-34.0 mln m³

The calculation of the water balance of the Kapshagai reservoir shows that the total inflow was 87,93 million m³ (2021) and 79,37 million m³ (2022), while the total discharge was 34.00 million m³ in 2021, but in 2022 it was almost 50 % more – 77.76 million m³. The proportional distribution of the water balance is shown in Figure 7, and the results of calculations of the water balance are as follows, in 2021–53,05 mln m³ and in 2022 – 1,61 mln m³.

These figures reflect the very effective regulation of the water balance in 2021 and the relatively balanced operation of the reservoir in 2022, which indicates effective management in these hydrological and climatic conditions.

Conclusions.

Due to the harsh continental climate in the Republic of Kazakhstan, especially in the southern regions,

evaporation from reservoirs and soil moisture is expected to be higher than normal. Therefore, evaporation from the surface of reservoirs, depending on the volume of water, shows within 5-10%. Irrigation and sanitary releases account for the largest outflow from reservoirs.

According to the results of calculations, the water balance for the reporting period, a positive accumulation of water resources was noted in all reservoirs of the region. This indicator indicates a favorable hydrological environment and confirms the effectiveness of reservoir systems. The positive values of the water balance indicate rational and efficient management of water resources, ensuring the successful accumulation of part of the supply waters. This, in turn, creates additional opportunities for their subsequent targeted use in various water management sectors, increasing the sustainability of water supply and the adaptive potential of the regional water infrastructure.

The effectiveness of reservoirs as elements of flow accumulation and regulation is largely determined by inter-annual variability of water inflow. When inflow decreases, for example, below 15.0 km³, as it was observed in some years at the Shardara reservoir, the risks of water resources deficit increase significantly. This is true even if the design parameters of the reservoir, such as area or water level, are maintained. Under such conditions, the reservoir functions at the limit of its regulating capacity, which requires the introduction of flexible and adaptive management regimes.

Evaporation from the water surface is a significant source of water loss, especially in years of high reservoir occupancy. Taking into account current climatic trends, we can expect an increase in this process, which will lead to an increase in the overall water shortage in the basin.

Therefore, a consistent decrease in the water balance can be expected. In this regard, there is a growing need to improve methods of regulating water resources, optimize resource allocation, and regularly monitor the water balance, taking into account climate change and anthropogenic pressure.

Data availability

The data used in this study were obtained by the authors from the following sources: Aral-Syrdarya water basin inspection for regulation of water resources management and use.

REFERENCES

- Karimov Smakhtin V., Mavlonov A., Gracheva I. (2010). Water 'banking' in Fergana valley aquifers—A solution to water allocation in the Syrdarya river basin? *Agricultural Water Management*. Volume 97. Issue 10. October 2010. Pp.1461–1468 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.04.011>
- Sorg A., Mosello B., Shalpykova G., Allan A., Hill Clarvis M., Stoffel M. (2014). Coping with changing water resources: The case of the Syr Darya river basin in Central Asia // *Environmental Science & Policy*. Volume 43. November 2014. Pp. 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.11.003>
- Toqeer A., Samarkhanov K., Sagymbay O., Samat A., Aliyeva S., Abuduwaili J. (2021). Monitoring Vegetation Patterns at the Syrdarya River Basin from 2000 to 2015 using MODIS Data // *International Journal of Geoinformatics* 17/1, 2021. <https://doi.org/10.52939/ijg.v17i1.1703>
- Mussina A.K., Narbayeva K.T., Zhanabayeva Zh.A., Kaipbayev Ye.T., Taukebayev O.Zh. (2023). Assessment of changes and use of water resources in the Syrdarya river // *Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты*. №4 (100) 2023. ISSN 2304–3334. <https://doi.org/10.37884/4-2023/21>
- Zaurbek A.K. (2016). Use of water resources of the Syrdarya river basin and the possibility of forming a more favourable environmental situation in its lower reaches. *Issues in geography and geocology*. № 1. 2016. Pp. 64–74
- Assessment of water resources and channel balance of the Syrdarya River within the Republic of Kazakhstan. Tashkent and Almaty: Scientific-Information Centre of ICWC, 2011. 52 p.
- Kuznetsov E.V., Degtyareva E.V., Yashchenko K.V. (2018). Water management systems and water use. Study guide, Krasnodar KubGAU 2018. 77 p.
- Gapparov F.A., Gafforova M.F., Eshquvatonov Q.SH. (2022). Operating regime of water reservoirs for safe transportation of floods. June 2022 AIP Conference Proceedings 2432(1):030017. DOI: 10.1063/5.0090192
- Arseniev G.S., Ivanenko A.G. (1993). Water economy and water management calculations. S-P.: Gidrometeoizdat, 1993. 273 p.
- Ismailylova I.G. (2024). Investigation of the long-term variability of the elements of the water balance of the river basin in the modern climate // *Environmental management*, № 2, 2024. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-2-69-78>
- Kasabekov M., Baimbetova G., Zhumadilova A. (2023). Methodology for teaching water management activities of the Saryshiganak dam located on the Syrdarya River. *Problems of engineering and professional education*, Vol. 71. № 4. 2023. <https://doi.org/10.32523/2220-685X-2023-71-4-5-22>
- Burlibayev M.J., Dostay J.D., Tursunov A.A. (2001). Aral-Syrdarya basin: hydrological problems, water allocation issues. – Almaty: Daur, 2001. 180 p.
- Methods of studying and calculating the water balance (MSCWB). Leningrad hydrometeoizdat 1981. – 394 c.
- Rakhmatov N. (2023). Improvement of water resources management in Syrdarya basin. AIP Conf. Proc. 2612, 020007. 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0125343>
- Sambaev N.S. (2018). Assessment of the hydrological state of the Syrdarya River within the Kyzylorda region. *Vector of Geosciences* 1(3) 2018. Pp. 95–100
- Sambaev N.S. (2017). Modern hydroecological state of the lower reaches of the Syrdarya River and the use of its runoff resources // *Astrakhan Vestnik of Environmental Education*, No. 2 (40). 2017. Pp. 50–55.
- Scheme for Integrated Use and Protection of Water Resources in the Syrdarya River Basin (SCIWRM Update 2008), Book 1, Part 1., 2018

Dukhovny V.A., Stulina G. (2001). Strategy of transboundary return flow use in the Aral Sea basin. Desalination. Volume 139, Issues 1–3, 20 September 2001, Pp. 299–304. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00323-X](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00323-X)

Bakhtiyarov V.A. (1961). Water management and water calculations. Hydrometeorological publishing house, Leningrad 1961. 432 с.

Dukhovny V.A., Sokolov V.I., Ziganshina D.R. (2013). Integrated Water Resources Management in Central Asia, as a way of survival in conditions of water scarcity. Quaternary International. Volume 311, 17 October 2013. Pp. 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.07.003>

Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. Volume IX. Inland and marginal water bodies of Kazakhstan (Aral, Balkash, Caspian). Book 1. – A., 2012. 456 с.

К.Т. Нарбаева – администрирование проекта, проверка

А.З. Таиров – курирование данных, методология

Г.К. Исмаилова – курирование данных

Ф.Б. Маденова – курирование данных

А.В. Толстиков – методология



A.A. Nurgaziyeva, A.T. Toktar*

LLP Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: asel-nurgaziyeva@mail.ru

ASSESSMENT OF THE RESOURCE POTENTIAL AND QUALITY OF GROUNDWATER FOR PASTURE WATERING IN THE AKTOBE REGION

Nurgaziyeva Asel, junior researcher at the Laboratory of Regional Hydrogeology and Environmental Geoscience «Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience» LLP, Kazakhstan, 050010, Almaty, Ualikhanov str, 94

E-mail: asel-nurgaziyeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8925-2391>;

Toktar Aliya, researcher at the Laboratory of Regional Hydrogeology and Environmental Geoscience «Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience» LLP, Kazakhstan, 050010, Almaty, Ualikhanov str. 94

E-mail: aliya.toktar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8231-5422>.

Abstract. *Introduction.* Pastures play a crucial role in agriculture under harsh climatic conditions and limited availability of nutrients. Pasture lands of Western Kazakhstan account for nearly half of the total pasture area of the republic. During the Soviet period, more than 50% of the pastures in these regions were provided with watering systems, with groundwater serving as the main source. This article presents the results of scientific and practical studies aimed at substantiating measures for pasture watering in the Aktobe region to ensure the sustainable development of livestock farming. *Materials and methods.* The main objective of the study is to assess the suitability of groundwater for pasture watering. Field investigations included water sampling from operating wells and boreholes, mapping of watering points, and assessment of the degree of wear of water intake facilities. The results indicate the presence of significant reserves of fresh and slightly saline groundwater suitable for livestock use. At the same time, the water supply system was found to be in unsatisfactory condition: most wells require reconstruction, and the level of mechanization remains low. The feasibility of restoring water intake structures and implementing modern approaches to groundwater resource management is substantiated in order to ensure the sustainable development of pasture-based livestock farming. *Results and discussion.* An analysis of pasture load by districts of the region revealed signs of ecosystem recovery and made it possible to determine the degree of impact of anthropogenic factors on their condition. *Conclusions.* The resource potential of groundwater makes it possible to address the tasks of pasture watering and to ensure water supply for the entire livestock population that can be maintained in the studied area.

Keywords: pastures, groundwater, pasture watering, water supply, Aktobe region, hydrogeology, livestock farming

For citation: Nurgaziyeva A.A., Toktar A.T. (2026). Assessment of the Resource Potential and Quality of Groundwater for Pasture Watering in the Aktobe Region // // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 180–193. <https://doi.org/10.37884/3-2026/15> [In Russ.].

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

Funding: The research work was carried out within the framework of the program funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, BR24992885 «Scientific and practical justification for the sustainable development of domestic livestock farming based on the watering of pasture areas using groundwater», 2024–2026.

А.А. Нұрғазиева*, Ә.Т. Тоқтар

У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, Алматы, Қазақстан.

E-mail: asel-nurgazieva@mail.ru

АҚТӨБЕ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ЖАЙЫЛЫМДАРДЫ СУЛАНДЫРУ ҮШІН ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫНЫҢ РЕСУРСТЫҚ ӘЛЕУЕТІ МЕН САПАСЫН БАҒАЛАУ

Нұрғазиева Әсел Азатқалиевна, Аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының кіші ғылыми қызметкері «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Қазақстан, 050010, Алматы, Уалиханов көшесі, 94

E-mail: asel-nurgazieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8925-2391>;

Тоқтар Әлия Төлеубайқызы, Аймақтық гидрогеология және геоэкология зертханасының ғылыми қызметкері «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Қазақстан, 050010, Алматы, Уалиханов көшесі 94

E-mail: aliya.toktar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8231-5422>.

Аннотация. Кіріспе. Жайылымдар қатал климат жағдайында және қоректік заттарға қолжетімділік шектеулі болған кезде ауыл шаруашылығында аса маңызды рөл атқарады. Батыс Қазақстан аймағындағы жайылымдық жерлер республика бойынша жалпы жайылымдардың шамамен жартысын құрайды. Кеңес Одағы кезеңінде аталған өңірлердегі жайылымдардың 50 %-дан астамы суландырылған, ал негізгі су көзі ретінде жерасты сулары пайдаланылған. Мақалада Ақтөбе облысы аумағындағы жайылымдық жерлерді суландыру бойынша іс-шараларды ғылыми тұрғыдан негіздеуге бағытталған ғылыми-тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері қарастырылған, бұл өңірде мал шаруашылығының орнықты дамуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. *Материалдар мен әдістер.* Зерттеудің негізгі мақсаты – жайылымдарды суландыру үшін жерасты суларының жарамдылығын бағалау. Далалық зерттеулер барысында жұмыс істеп тұрған құдықтар мен ұңғымалардан су сынамалары алынды, су көздерінің орналасуы картаға түсірілді, сондай-ақ су алу құрылыстарының тозу деңгейі бағаланды. Алынған нәтижелер мал шаруашылығында пайдалануға жарамды тұщы және әлсіз тұзданған жерасты суларының едәуір қоры бар екенін көрсетті. Сонымен қатар сумен жабдықтау жүйесінің қанағаттанарлықсыз жағдайы анықталды: ұңғымалардың басым бөлігі қайта жаңғыртуды қажет етеді, ал механикаландыру деңгейі төмен болып отыр. Жайылымдық мал шаруашылығының орнықты дамуын қамтамасыз ету мақсатында су алу құрылыстарын қалпына келтірудің және жерасты су ресурстарын басқарудың заманауи тәсілдерін енгізудің орындылығы негізделді. *Нәтижелер мен талқылау.* Облыс аудандары бойынша жайылымдарға түсетін жүктемені талдау нәтижесінде экожүйелердің қалпына келу белгілері анықталып, антропогендік факторлардың олардың жағдайына әсер ету дәрежесі айқындалды. *Қорытынды.* Жерасты суларының ресурстық әлеуеті жайылымдарды суландыру және аталған аумақта ұсталуды мүмкін барлық мал басын сумен қамтамасыз ету мәселелерін шешуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: жайылымдар, жерасты сулары, суландыру, сумен қамтамасыз ету, Ақтөбе облысы, гидрогеология, мал шаруашылығы

Дәйексөз үшін: Нұрғазиева А.А., Тоқтар Ә.Т. (2026). Ақтөбе облысындағы жайылымдарды суландыру үшін жерасты суларының ресурстық әлеуеті мен сапасын бағалау // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Іс. 3. Number 111. Pp. 180–193. <https://doi.org/10.37884/3-2026/15> [In Russ.].

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

Алғыс: Ғылыми-зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын BR24992885 «Жерасты суларын пайдалану негізінде жайылымдық аумақтарды суландыру арқылы отандық мал шаруашылығының тұрақты дамуын ғылыми-практикалық негіздеу» бағдарламасы аясында 2024–2026 жылдары жүргізілді.

А.А. Нургазиева, Ә.Т. Токтар*

ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан.

E-mail: asel-nurgazieva@mail.ru

ОЦЕНКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА И КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОБВОДНЕНИЯ ПАСТБИЩ АКТЮБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Нургазиева Асел Азаткалиевна, младший научный сотрудник Лаборатории региональной гидрогеологии и геоэкологии, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова 94

E-mail: asel-nurgazieva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8925-2391>;

Токтар Әлия Төлеубайқызы, научный сотрудник Лаборатории региональной гидрогеологии и геоэкологии, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», Казахстан, 050010, Алматы, ул. Валиханова 94

E-mail: aliya.toktar@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8231-5422>.

Аннотация. *Введение.* Пастбища играют важнейшую роль в сельском хозяйстве в условиях сурового климата и ограниченного доступа к питательным веществам. Пастбищные угодья Западного Казахстана составляют почти половину от суммарных по республике. В советское время были обводнены более 50 % пастбищ данных регионов, а основным источником являлись подземные воды. В статье рассмотрены результаты научно-практических исследований по обоснованию мероприятий по обводнению пастбищных территории Актюбинской области для устойчивого развития животноводства в регионе. *Материалы и методы.* Основной целью исследования является оценка пригодности подземных вод для обводнения пастбищ. Полевые обследования включили отбор проб из действующих колодцев и скважин, картирование водопунктов, оценку степени износа водозаборных сооружений. Полученные результаты свидетельствуют о наличии значительных запасов пресных и слабосолоноватых подземных вод, пригодных для использования в животноводстве. В то же время установлено неудовлетворительное состояние системы водоснабжения: большинство скважин нуждается в реконструкции, а степень механизации остаётся недостаточной. Обоснована целесообразность восстановления водозаборных сооружений и применения современных подходов к управлению подземными водными ресурсами в целях обеспечения устойчивого развития пастбищного животноводства. *Результаты и обсуждение.* Оценка использования пастбищных территорий Актюбинской области показала, что регион характеризуется значительными земельными ресурсами, но малой водообеспеченностью. Техническое обследование действующих пастбищ показало, что инфраструктура водопоя характеризуется высоким уровнем физического износа. Гидрохимический состав подземных вод отличается высокой пространственной изменчивостью, зафиксированы локальные зоны загрязнения нитратами, солями аммония и фтора. В результате анализа нагрузки на пастбища по районам области была определена степень влияния антропогенных факторов на их состояние. *Выводы.* Ресурсный потенциал подземных вод позволяет решить задачи обводнения пастбищ и обеспечения водопоя всего поголовья скота, который может содержаться на данной территории.

Ключевые слова: пастбища, подземные воды, обводнение, водообеспечение, Актюбинская область, гидрогеология, животноводство

Для цитирования: Нургазиева А.А., Токтар Ә.Т. (2026). Оценка ресурсного потенциала и качества подземных вод для обводнения пастбищ Актюбинской области // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Іс. 3. Number 111. Pp. 180–193. <https://doi.org/10.37884/3-2026/15> [In Russ.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность: научно – исследовательская работа проводилась в рамках программы, финансируемой Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, BR24992885 «Научно-практическое обоснование устойчивого развития отечественного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий подземными водами», 2024–2026 гг.

Введение.

Пастбищные угодья являются одними из наиболее распространенных и социально-экологически значимых типов растительного покрова на Земле. В условиях глобальных климатических изме-

нений и дефицита водных ресурсов роль подземных вод как стратегического ресурса существенно возрастает. По современным оценкам, подземные воды составляют около 30 % доступных пресных водных ресурсов планеты и являются одним из наиболее устойчивых и защищенных источников водоснабжения в засушливых и полузасушливых регионах [Costa et.al., 2025: 180925]. По данным ООН, подземные воды представляют собой ключевой резерв, обеспечивающий долгосрочную водную безопасность и устойчивость сельского хозяйства.

Особую значимость подземные воды приобретают в пастбищных экосистемах. Согласно данным Всемирного банка, практически 60 % экосистем, зависящих от подземных вод, совпадают с пастбищными территориями, что делает их критически важными для животноводства. Учитывая изменчивость поверхностного стока в зависимости от времени года именно подземные воды обеспечивают надежное водоснабжение, что особенно важно для экстенсивных форм животноводства [UNESCO World Water Assessment Programme, 2024].

При этом сельское хозяйство, включая животноводство, является крупнейшим потребителем подземных вод: до 70 % мировых изъятий подземных вод приходится на производство сельскохозяйственной продукции [Deal, 2025]. Это усиливает нагрузку на имеющиеся водные ресурсы и требует перехода к научно обоснованному управлению ресурсами.

Дополнительной проблемой является ухудшение качества подземных вод. Современные исследования показывают, что в ряде регионов мира наблюдается рост концентраций нитратов, хлоридов и других компонентов, связанных с сельскохозяйственной деятельностью, что свидетельствует о возрастающем антропогенном воздействии на подземные воды. В пастбищных и аграрных районах это связано с инфильтрацией продуктов жизнедеятельности животных, удобрений и ирригационных возвратных вод.

Несмотря на высокую значимость, во многих странах сохраняется недостаточная изученность ресурсов подземных вод, особенно в части их пригодности для водопоя скота и оценки потенциала. Например, исследования в странах Африки показывают, что при наличии значительных запасов подземных вод их использование для орошения и водоснабжения пастбищ остается ограниченным из-за недостатка данных, инфраструктуры и мониторинга [Pavelic et.al., 2012].

В масштабе нашей Республики пастбища занимают больше половины площади Казахстана, играют решающую роль в сохранении биоразнообразия, поддерживают разнообразную и критически важную экономику, но в то же время находятся под угрозой со стороны многих факторов, включая изменение климата [Махамбетов et.al., 2024: 157–169].

В современной мировой практике, в связи с глобальными изменениями климата и усилением процессов опустынивания, остро стоит проблема разработки и внедрения эффективных систем управления природно-ресурсным потенциалом, позволяющих отказаться от ресурсоемких технологий и гибко регулировать уровень антропогенной нагрузки на экосистемы, сохраняя почвенные и растительные ресурсы аридных территорий [Сводный аналитический отчет, 2023].

Методы.

Актюбинская область расположена в северо-западной части республики. Пастбищные территории области занимают около 235 тыс. км² [Алимаев et.al., 2017: 67–74].

По состоянию на 2023 г. площадь пастбищ Актюбинской области составляет 25,3 млн га (43,2 % от общих по западному региону), из которых обводненными числятся 37,7 %.

Пастбищные территории Актюбинской области сравнительно богаты подземными водами (как грунтовыми, так и напорными), которые приурочены к различным по генезису и возрасту водоносным образованиям.

Для практического использования для обводнения пастбищ наиболее перспективны водоносные горизонты и комплексы аллювиальных четвертичных, неогеновых и палеогеновых, меловых, юрских и триасовых отложений, а также зона открытой трещиноватости скальных пород. Для обводнения пастбищ в основном используются водозаборы из трубчатых колодцев, скважин и шахтных колодцев. Также востребованы поверхностные воды рек, копани, каптаж родников и другие виды поверхностных источников [Алимаев et.al., 2017: 67–74; Тумлерт et.al., 2020: 24–26; Омбаев et.al., 2023: 36–48].

В Актюбинской области в ходе маршрутов обследования 95 шахтных колодцев и 5 скважин в пределах Айтекебийского, Алгинского, Байганинского, Кобдинского, Мартукского, Мугалжарского и Темирского районов (рисунок 1–2).

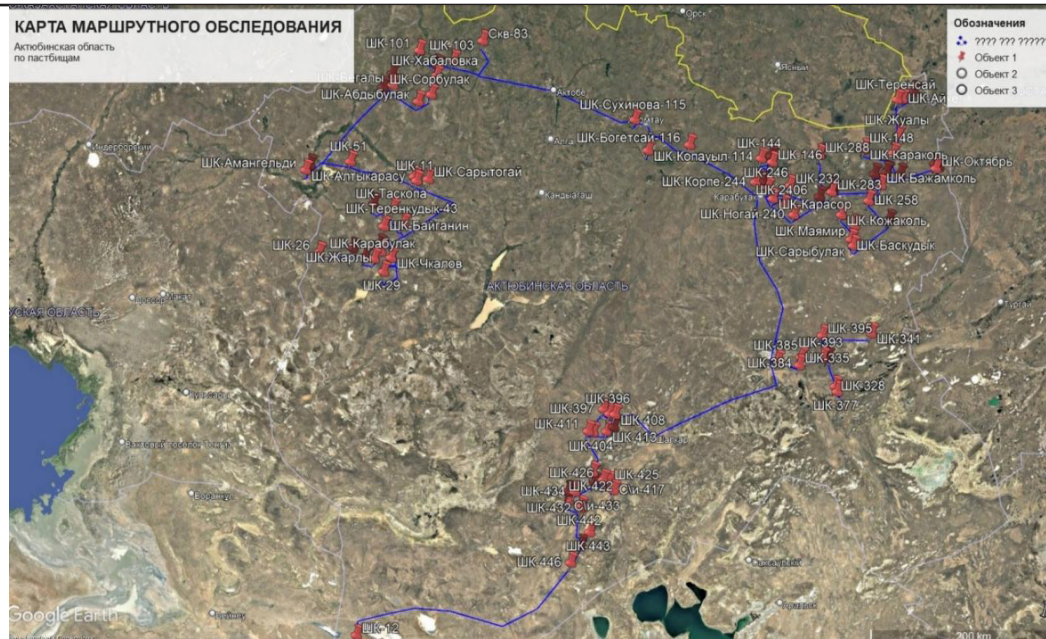


Рис.1. Карта фактического материала и точек отбора проб на пастбищах Актыобинской области [Fig. 1. Map of factual data and sampling points on pastures in the Aktobe Region]



Колодец, п.Жанабоз



Скважина, п. Комсомол

Рис.2. Отбор проб в ходе маршрутного обследования
[Fig. 2. Sampling during route survey]

Водопункты различаются по глубине, конструкции и техническому состоянию. Глубина шахтных колодцев варьировала от 2–4 м (шк. №432, №442, №446, №425, №335 и др.) до более чем 15 м (шк. №411 Таскудук, шк. №341 Балапан, шк. №91 Каракол). На ряде объектов установлены насосы и резервуары для водопоя скота (шк. №422, шк. №440, шк. №110 Теренкудык-43).

В отдельных случаях зафиксированы разрушенные или заброшенные колодцы (ШК №404, №384, №104), что снижает их хозяйственную ценность. При этом большинство источников эксплуатируется активно, к ним подведены поилки, водонакопители и насосное оборудование.

Материалы.

На лабораторные исследования отобрано 100 проб воды. В набор компонентов, характеризующих качественное состояние подземных вод, входят: минерализация, водородный показатель, основные химические компоненты состава вод, а также микрокомпоненты (кадмий, свинец, медь, цинк) и нефтепродукты. Методики проведения лабораторных испытаний сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Методики проведения лабораторных испытаний

Компонент	Методики испытаний	Компонент	Методики испытаний
Натрий	ГОСТ 26449.1-85, п. 17.1	Карбонаты	ГОСТ 26449.1-85, п. 7.1
Калий	ГОСТ 26449.1-85, п. 18.1	Гидрокарбонаты	ГОСТ 26449.1-85, п. 7.1
Кальций	ГОСТ 26449.1-85, п. 11.1	Хлориды	ГОСТ 26449.1-85, п. 9
Магний	ГОСТ 26449.1-85, п. 12	Сульфаты	СТ РК 1015-2000
Аммоний	ГОСТ 33045-2014	Нитраты	ГОСТ 33045-2014
Железо (+2)	СТ РК ИСО 6332-2008	Нитриты	ГОСТ 33045-2014
Железо (+3)	СТ РК ИСО 6332-2008	Фториды	СТ РК 2727-2015
pH	СТ РК ISO 10523-2013	Жесткость общая	ГОСТ 26449.1-85, п. 10
Сухой остаток	ГОСТ 26449.1-85	SiO ₂	ГОСТ 26449.1-85, п.22
Бор	ПНД Ф 14.1:2:4.36-95	Иодиды	ГОСТ 23268.16-78
Cd, Pb, Cu, Zn, нефтепродукты	СП № 26 от 20.02.2023	Бромиды	ГОСТ 23268.15-78

По результатам химико-аналитических исследований составлены Протоколы испытаний воды и сводные таблицы качественных показателей подземных вод. Обработка результатов лабораторных исследований проб подземных вод выполнена с помощью программного комплекса AquaChem 11, разработанного Waterloo Hydrogeologic, Канада для графического отображения в виде диаграмм Пайпера, которые отражают основной анионно-катионный состав подземных вод, и диаграмм Дурова, отображающих содержание основных макрокомпонентов в составе подземных вод и соотношении величины минерализации и значений pH.

Результаты.

Основной задачей исследования являлась оценка пригодности подземных вод для водопоя сельскохозяйственных животных.

Поголовье и водопотребления скота на пастбищах Западного Казахстана.

По состоянию на 2023 г. площадь пастбищ Западного Казахстана составляет 58,6 млн. га, 31,9 % от суммарных по республике и в 81,9 % от площади региона. Распределение пастбищ по областям сведено в таблице 2 и отражено на рисунке 3.

Таблица 2 – Состояние пастбищных территорий Западного и Центрального Казахстана по состоянию на 2023 г.

Регион, область	Площадь, тыс. км ²	Площадь пастбищ		Площадь обводненных пастбищ, тыс. га	Водообеспеченность пастбищ подземными водами, %
		тыс. га	%		
Западный Казахстан	715,57	58607,3	81,9	30415,8	51,9
Актюбинская	295,85	25301,7	85,5	9538,5	37,7
Атырауская	117,38	9611,9	81,9	4320,2	44,9
Западно-Казахстанская	136,70	11061,1	80,9	8191,5	74,1
Мангистауская	165,64	12632,6	76,3	8365,6	66,2

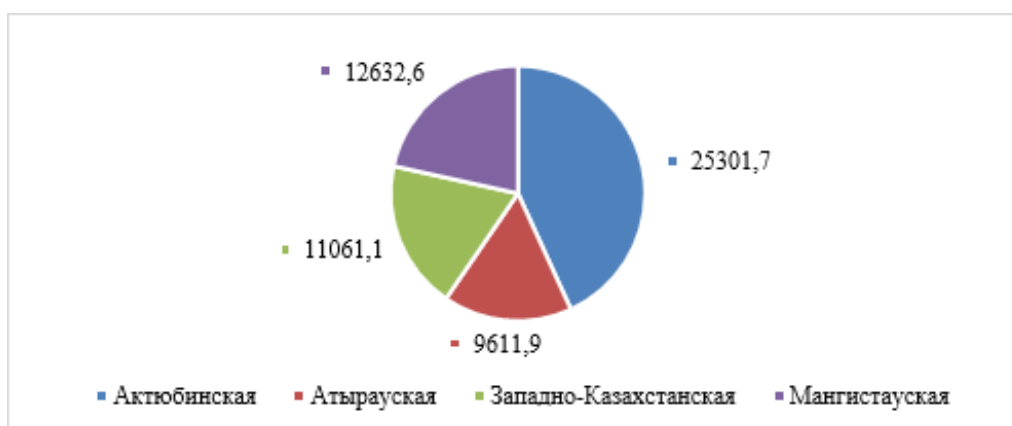


Рис.3. Площадь пастбищ административных областей Западного Казахстана, млн. га
[Fig. 3. Pasture Area across Administrative Regions of Western Kazakhstan (million ha)]

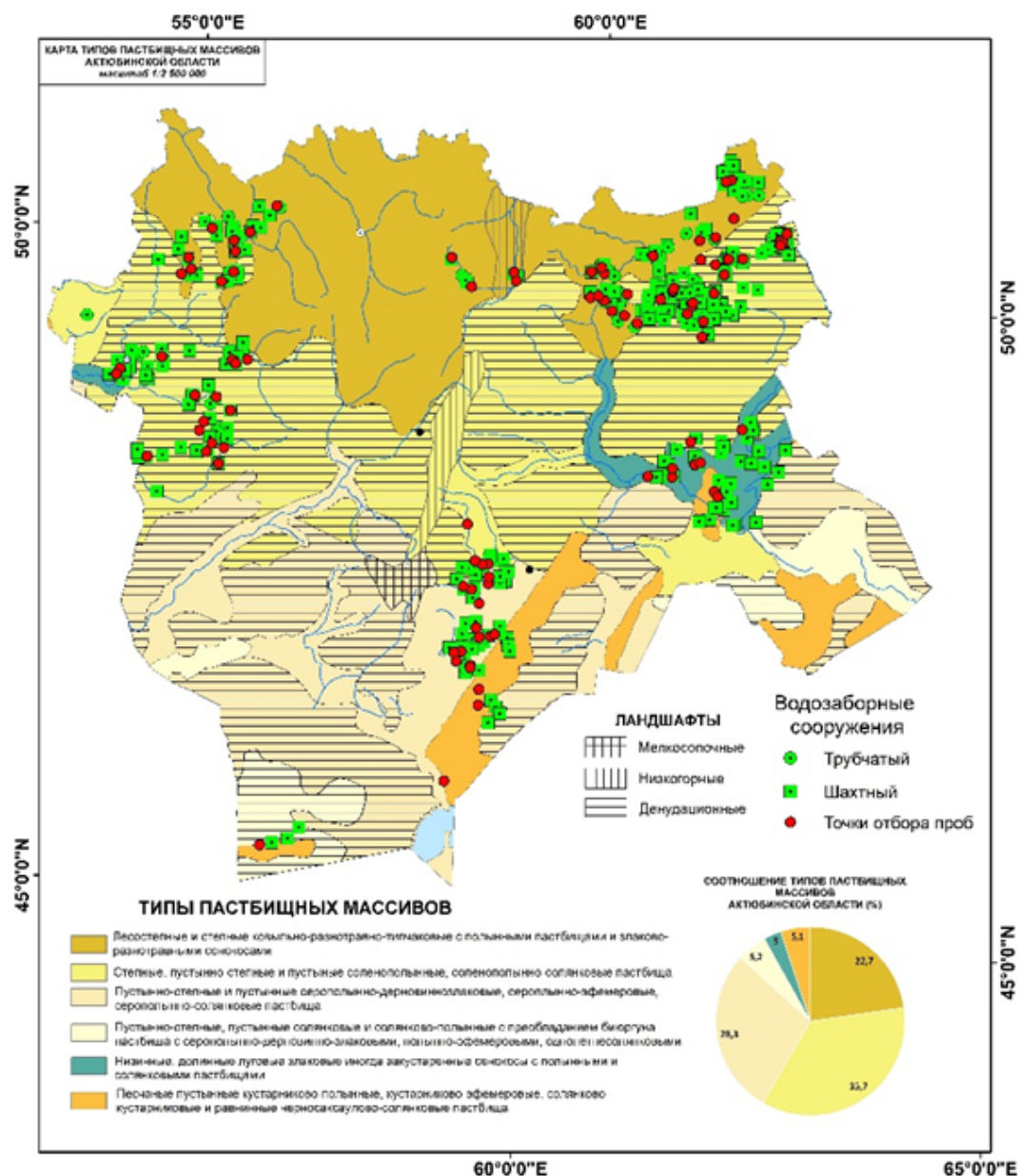


Рис.4. Карта расположения типов пастбищных массивов в пределах Актюбинской области
 [Fig. 4. Map of the distribution of pasture types within the Aktobe Region]

Данные по количеству скота собраны из материалов отчетов районных и областных управлений акиматов по состоянию на 2023 год.

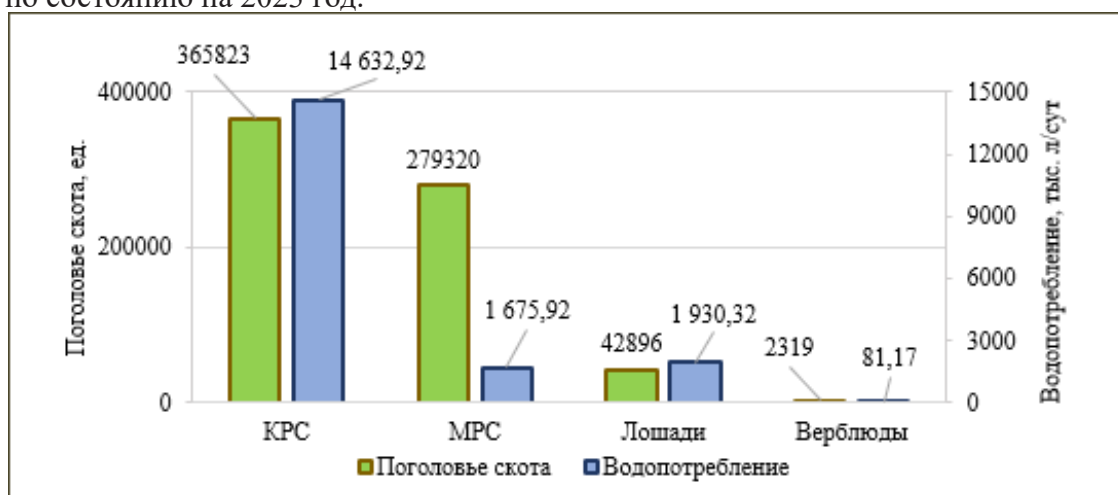


Рис.5. Поголовье и водопотребление по виду скота на пастбищах Актюбинской области
 [Fig. 3. Livestock and Water Use by Species (Aktobe Region Pastures)]

Оценка использования и техническое состояние обводнительных сооружений.

Площадь пастбищ 25,3 млн га или 85,5 % от площади области, а обводненными числятся 9,54 млн га (37,7 %). Для обводнения пастбищ кроме подземных вод широко используются другие виды водоисточников – поверхностные воды рек, прудов и каналов (порядка 21 %) [Сводный аналитический отчет, 2023].

Обследования технического состояния обводнительных сооружений на отгонных пастбищах показали, что более 75 % существующих обводнительных сооружений на водопойных пунктах отгонных пастбищ, использующих подземные воды, не пригодны для эксплуатации и требуют капитального ремонта, восстановления дебита или строительства новых сооружений, взамен разрушенных существующих. Основной причиной выхода из строя обводнительных сооружений является выработка нормативных сроков службы, отсутствие надлежащей эксплуатации и следствие диверсификации агропромышленного комплекса на пастбищах, изменение форм собственности и значительное разрушение пастбищной инфраструктуры.

Анализ технического состояния обводнительных сооружений на отгонных пастбищах показал, что не в рабочем состоянии находится 18 % шахтных колодцев и 54 % скважин. Скважины глубиной до 50 м составляют 64 %, свыше 50 м – 25 %, 11 % – засыпаны. Шахтные колодцы глубиной до 10 м – 85 %, свыше 10 м – 15 %. По диаметрам обсадных колонн скважины распределяются следующим образом: 108 мм – 17 %, 219 мм – 72 %, 326 мм – 11 %. Минерализация воды источников в основном составляет от 0,1 до 6,0 г/дм³, но встречаются с минерализацией до 9,8 г/дм³, а дебиты от 0,1 до 4,6 дм³/с.

Водоподъем из скважин осуществляется в основном мотопомпами АБ и погружными насосами типа ЭЦВ китайского производства, и ручными колонками, а из шахтных колодцев ВЛМ с ЗИД-4,5, мотопомпами АБ и ручными колонками. Резервуар для хранения запаса воды в основном из ж/б на 3,0 м³ без крышки встречаются металлические емкости от автоцистерн, требуют ремонта 55 %.

Водопойные корыта в основном из асбоцементных труб длиной до 20 м и металлических труб диаметром 300-800 мм, требуется ремонт торцов и опор, на 241 водопойном пункте водопойные корыта вообще отсутствуют. Отмостки водопойных площадок в основном отсутствуют или почти полностью разрушены. Минерализация воды источников в основном составляет от 0,1 до 6,0 г/дм³, но встречаются источники с минерализацией до 9,8 г/дм³. Дебиты водоисточников от 0,1 до 4,6 дм³/с.

Обсуждение.

Западный Казахстан располагается в основном на территории Прикаспийской равнины и в целом отличается незначительными ресурсами поверхностных вод. Прогнозные ресурсы подземных вод с минерализацией до 10 г/л оцениваются в 265,4 м³/с (8,37 км³/год) или 13,0% от суммарных по республике. Прогнозные ресурсы пресных подземных вод с минерализацией до 1 г/л составляют 83,1 м³/с (2,62 км³/год) или только 6,5% от суммарных по республике, слабосолоноватые воды с минерализацией 1-3 г/л – 83,7 м³/с (2,64 км³/год) или 16,1% от суммарных по республике. Пресные и слабосолоноватые подземные воды занимают 62,9% от общей величины прогнозных ресурсов по региону. Основным источником пополнения ресурсов пресных и слабосолоноватых подземных вод практически всех водоносных горизонтов являются атмосферные осадки и в меньшей степени речные воды. Пресные и слабосолоноватые подземные воды региона в наибольшей степени подвержены влиянию антропогенных факторов и характеризуются слабой степенью защищенности от естественного загрязнения. Влияние климатических изменений на ресурсы подземных вод в целом по региону не выявлено [Смоляев et.al., 2011; Абсаметов, 2020].

Актюбинская область занимает восточную часть территории Западного Казахстана. Речная сеть области состоит из р. Жем с притоками, мелких бессточных рек, тяготеющих к р. Жайык, рекам Сагыз и Ойыл, а также временных водотоков, прилегающих к Аральскому морю.

Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод области с минерализацией до 10 г/л оцениваются в 153,44 м³/с (4,84 км³/год) или 57,8 % от суммарных ресурсов Западного региона, в том числе по минерализации, г/л: до 1,0–62,9 м³/с (1,98 км³/год) или 41,0 % от ресурсов области и 75,7 % от ресурсов пресных вод Западного Казахстана; 1–3–46,12 м³/с (1,45 км³/год) или 30,1 % от ресурсов области и 55,1 % от ресурсов солоноватых вод региона. При этом прогнозные ресурсы пресных и слабосолоноватых вод составляют 71,1 % от величины прогнозных ресурсов области и 65,4 % от общих ресурсов подземных вод с минерализацией до 3,0 г/л региона [Ongayev et al., 2022: 56–65].

Отмечается крайне неравномерное распределение ресурсов подземных вод по территории области.

В северной части распространены преимущественно слабосолоноватые и солоноватые воды с

минерализацией от 1,5 до 5 г/л, выявлены только отдельные участки с развитием пресных или слабосоленых подземных вод с минерализацией до 1,5 г/л.

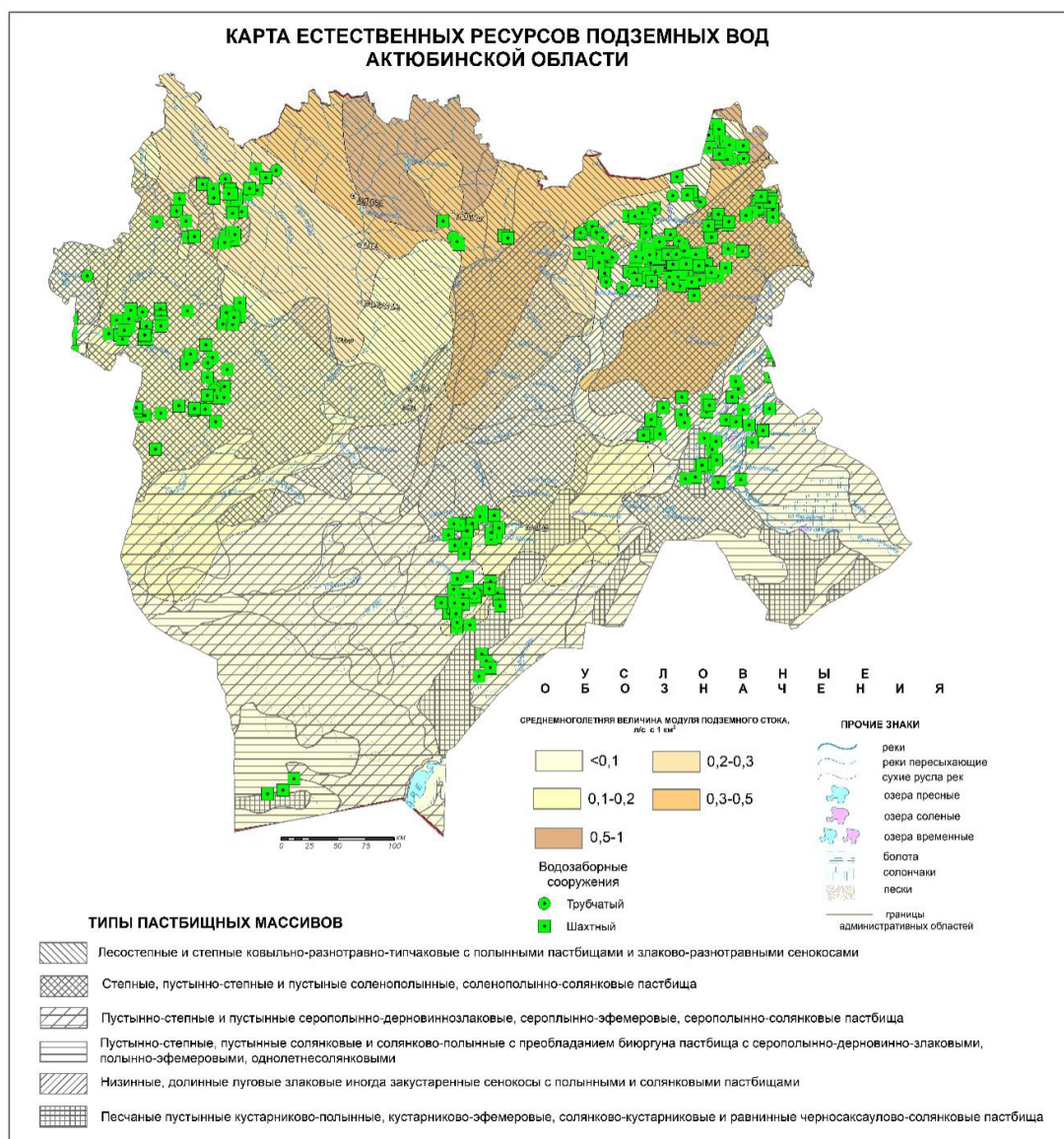


Рис.6. Карта естественных ресурсов подземных вод Актыбинской области
 [Fig. 6. Map of Natural Groundwater Resource Potential of the Aktobe Region]

Южнее реки Жем распространены слабосоленые и соленые воды. В Донгыстау-Предмугалжарском бассейне, занимающем центральную часть области, и на большей части Шалкарского бассейна развиты преимущественно пресные и слабосоленые воды с минерализацией до 3 г/л. Лишь на правобережье реки Иргиз значительная площадь занята водами с минерализацией более 5 г/л.

На юго-востоке области (правобережье реки Иргиз) пресные подземные воды встречаются крайне редко. В Северо-Устиртском бассейне минерализация подземных вод на большей части площади превышает 5 г/л.

Основным источником пополнения ресурсов пресных и слабосоленых подземных вод практически всех водоносных горизонтов являются атмосферные осадки и в меньшей степени – речные воды. Пресные и слабосоленые подземные воды региона в наибольшей степени подвержены влиянию антропогенных факторов и характеризуются слабой степенью защищенности от естественного загрязнения (рисунок 2) [Absametov et al., 2023: 3–15].

По состоянию на 2023 г., площадь пастбищ Актыбинской области составляет 25,3 млн га (43,2 % от общих по западному региону), из которых обводненными числятся 37,7 %.

Для практического использования для обводнения пастбищ наиболее перспективны водоносные горизонты и комплексы аллювиальных четвертичных, неогеновых и палеогеновых, меловых, юрских и триасовых отложений, а также зона открытой трещиноватости скальных пород.

Таблица 3 – Перспективные водоносные горизонты Актюбинской области Западного Казахстана

Тип водоносного горизонта	Территория распространения	Водовмещающие отложения	Основные характеристики				
			Глубина до воды, м	Мощность, м	Дебиты водо-пунктов, л/с	Минерализация воды, г/л	Состав воды
Аллювиальных четвертичных отложений, безнапорный	Долины рек Жайык, Елек, Ойыл, Жем, Ыргыз и др	Пески и гравийно-галечники	2,0-7,0	от 10-15 до 35-40	от 1,0 до 10-20	от 0,2-1,0 до 4	HCO ₃ -SO ₄ Na, SO ₄ -Cl Na, Cl Na
Неогеновых отложений, безнапорный	Шалкарский и Северо-Устиртский бассейны	Разнозернистые пески с прослоями песчаных глин	от 0,5 -4, участками до 10-12	на севере 2-10, на юге до 37	0,1-1,5	от 1-3 до 5-10	Cl-SO ₄ Na, SO ₄ -Cl Na, Cl Na
Палеогеновых отложений, напорно-безнапорный	Междуречье Ыргыз-Улькай, центр. часть Шалкарского прогиба, пески Бол. Барсуки. Юго-вост. часть Ыргыз-Торгайского водораздела	Прослой и линзы мелко- и разнозернистых песков, реже супесей, чередующихся с прослоями алевролитистых глин и алевроитов	от 10-15 до 50	от первых до 20-40, иногда достигая 100	от сотых долей до 1-5	от 0,6-2,8 до 10	HCO ₃ Ca, Cl-SO ₄ Na, Cl Na
Альб-сеноманских отложений, напорный и напорно-безнапорный	Жемский, Донгыстау-Предмугалжарский, Северо-Приаральский и Шалкарский бассейны	Мелко-, реже среднезернистые пески, залегающие в виде пластов, прослоев и линз среди глин	от 1-10 до 50-200, при самоизливе +10+30	от 10-20 до 100-600	от 0,1-0,5 до 30-40	0,3-1 до 3-10	HCO ₃ Ca, Cl-SO ₄ Na, Cl Na
Юрских и триасовых отложений, безнапорный	Уральский, Южно-Предуральский и Жемский бассейны	Пески, песчаники, конгломераты, алевролиты, карбонатные и галогенные осадки	до 25-100	40-100	от 0,1-1,0 до 5-10	0,2 до 3, иногда до 8,5	HCO ₃ Ca, HCO ₃ -SO ₄ Na, SO ₄ -Cl Na, Cl Na
Зона открытой трещиноватости протерозой-палеозойских и интрузивных пород	Уральский и Южно-Предуральский бассейны	Терригенно-эффузивные, интрузивные и метаморфогенные породы	от первых до десятков м на водоразделах	30-60, на разломах до 100-200 и более.	0,1-1,0, в зонах разломов до 3-7	от 0,1-1,0 до 1,5-3	HCO ₃ Ca, HCO ₃ -SO ₄ Na, SO ₄ -Cl Na

Обследование технического состояния обводнительных сооружений на отгонных пастбищах показало, что более 75 % существующих обводнительных сооружений на водопойных пунктах отгонных пастбищ, использующих подземные воды, не пригодны для эксплуатации и требуют капитального ремонта, восстановления дебита или строительства новых сооружений, взамен разрушенных существующих. Основной причиной выхода из строя обводнительных сооружений является выработка нормативных сроков службы, отсутствие надлежащей эксплуатации и следствие диверсификации агропромышленного комплекса на пастбищах, изменение форм собственности и значительное разрушение пастбищной инфраструктуры.

Оценка химического состава подземных вод на пастбищных территориях Актюбинской области показала, что качество водных источников крайне неоднородно и во многом определяется как природными геохимическими условиями, так и антропогенными факторами.

Минерализация варьирует от 0,18 до 9,8 г/л при средней 1,64 г/л. Подавляющее большинство вод относится к водам с низкой или умеренной минерализацией (0,18–3,0 г/л), однако присутствуют локальные зоны с высоким солесодержанием (3,35–9,8 г/л). Реакция среды в целом нейтральная и слабощелочная: среднее значение pH ≈ 7,35.

По катионам характерно преобладание натрия (3,1–31776,4 мг/л), при заметных долях кальция и магния, что отражается в жесткости: средняя величина общей жесткости – около 10,4 мг-экв/л, а превышение ориентирного уровня 7 мг-экв/л отмечено в 44 пробах (жесткие и очень жесткие воды распространены широко). По анионам доминируют сульфаты (4–2918 мг/л) и хлориды (4–2974 мг/л), содержание гидрокарбонатов варьирует в пределах 91,5–1263,1 мг/л.

Следует отметить, что для части точек отмечено выраженное сульфатно-хлоридное обогащение, связанное с локальной минерализацией и, вероятно, испарительно-засоленным режимом или влиянием соленосных толщ: максимальное содержание хлоридов отмечено в пробах шк. 393, шк. Теренсай и шк. Северное (до 2,3–3,0 мг/л при минерализации 7,9–9,8 г/л); наиболее высокие значения сульфатов зафиксированы в пробах шк. 12, шк. 393, шк. 20, шк. Северное и шк. Теренсай (до 2,42–2,92 г/л).

Ключевой проблемой для области, помимо солености, является загрязнение нитратами. Превышение содержания нитратов более 50 мг/л отмечено в 36 пробах; аномально высокие содержания зафиксированы в пробах шк. Теренсай (635 мг/л), шк. Сухиновка (612 мг/л), шк. Северное (582 мг/л), шк. Толыбай (530 мг/л), шк. Карабулак (410 мг/л). Эти значения указывают на возможное локальное антропогенное влияние.

Значения концентрации азота аммонийного в целом низкие: в большинстве проб не превышает 3,0 мг/л, однако превышение 3,0 мг/л зафиксировано в 2 пробах: шк. Соколовский (до 10,2 мг/л), шк. с.Сарат Юг (4,0 мг/л).

Повышенное содержание фторидов отмечено в 10 пробах (выше 2,0 мг/л); максимумы – шк. Толыбай восток (6,3 мг/л), шк. 433 (4,9 мг/л), шк. 12 (4,4 мг/л).

Гидрохимическая мозаика включает две доминирующие группы: гидрокарбонатно-кальциево-магниевого воды низкой и умеренной минерализации (более половины проб) и хлоридно-сульфатные натриевые воды повышенной минерализации – локально распространённые в районах слабого естественного дренажа и интенсивного испарительного процесса. Пространственное соседство этих типов указывает на значительную вариабельность условий формирования и необходимость адресного подбора источников в пределах каждого пастбищного массива (рисунок 6) [Tazhiyev et al., 2025: 1297].

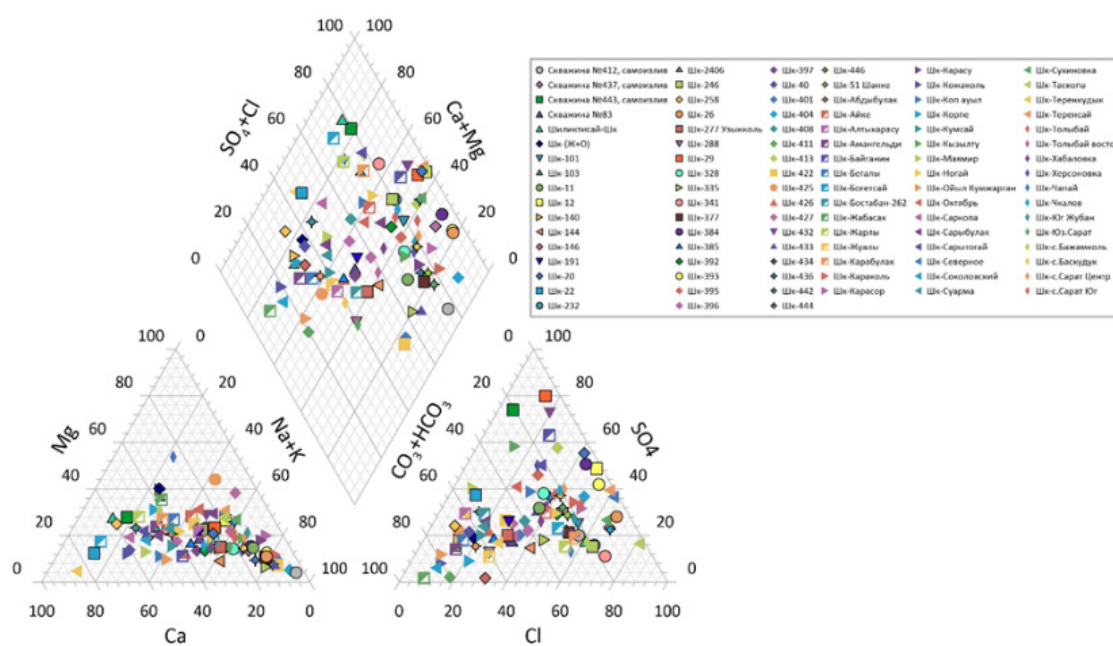


Диаграмма Пайпера

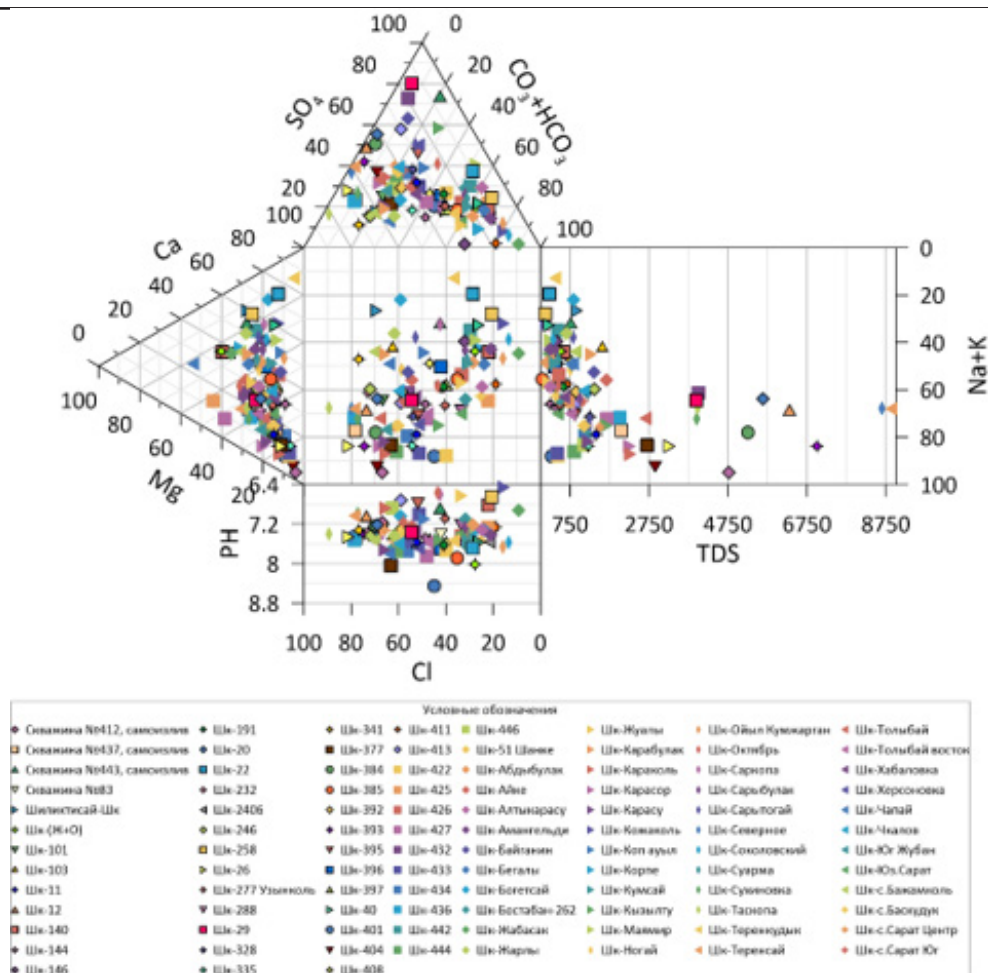


Диаграмма Дурова

Рис. 7. Диаграммы химического состава подземных вод пастбищных территорий Актыбинской области
[Fig. 7. Diagrams of the chemical composition of groundwater in pasture areas of the Aktyubinsk Region]

Выводы.

Животноводство является одной из ключевых отраслей экономики Казахстана, обеспечивая продовольственную безопасность, занятость населения и экспортный потенциал. Согласно данным FAO, Республика Казахстан занимает 6-е место в мире по площади сельскохозяйственных угодий.

Данный регион имеет все необходимые предпосылки для интенсивного развития отгонного животноводства, имеются продуктивные пастбища и необходимые подземные водные ресурсы, но в настоящее время сталкивается с серьезными вызовами, такими как деградация земель и климатические изменения.

На территории полупустынных и пустынных пастбищ сосредоточены значительные запасы подземных вод, пригодных для сельскохозяйственного использования. Ресурсный потенциал подземных вод позволяет решить задачи повсеместного обводнения пастбищ и обеспечения водопоя всего поголовья скота, который может содержаться на данной территории, при соответствующем налаживании необходимой водно-земельной инфраструктуры, создании площадей по выращиванию и заготовке аварийных запасов кормов, восстановлению объектов водной инфраструктуры (водопойных пунктов) и позволит значительно повысить эффективность отгонного животноводства [Тумлерт et.al., 2020: 24–26; Makhambetov et al., 2025: 145–154].

Перспективным направлением повышения эффективности использования пастбищных территорий Актыбинской области является развитие кормопроизводства на основе лиманного и регулируемого орошения. Применение данных технологий позволит существенно увеличить объемы заготовки кормов за счет внедрения повторных и смешанных посевов кормовых культур, что обеспечивает стабильную кормовую базу в непастбищный период. Как пример можно привести опыт урочища Донгузтау Байганинского района, который демонстрирует высокую эффективность лиманного орошения, основанного на использовании паводковых вод. Наличие здесь значительных запасов напорных (артезианских) подземных вод дополнительно увеличивает потенциал водообеспечения и формирования локальных орошаемых агроландшафтов. Комплексное использование поверхностных и подземных

вод создает предпосылки для расширения кормопроизводства и увеличения поголовья сельскохозяйственных животных.

Гидрохимический состав подземных вод отличается значительной изменчивостью и наличием локальных зон загрязнения.

Несмотря на повышенную минерализацию в ряде водоносных горизонтов, минерализованные подземные воды также могут рассматриваться как перспективный ресурс при условии применения современных методов опреснения. Использование технологий мембранного опреснения, в частности обратного осмоса, позволяет обеспечить получение питьевой воды нормативного качества непосредственно в местах водопотребления, снизить зависимость от поверхностных источников и повысить устойчивость пастбищного хозяйства к климатическим рискам. Это обосновывает целесообразность интеграции методов опреснения подземных вод в системы водоснабжения аридных территорий и расширяет перспективы рационального освоения водоносных горизонтов в условиях изменяющегося климата [Сундетова et.al., 2025: 94–100; Bezborodov et al., 2022: 361; Безбородов et.al., 2022: 27–34; Baisholanov et al., 2020: 190–203].

Область характеризуется интенсивным развитием различных отраслей промышленности, особенно в её северной части, что вызывает значительное техногенное воздействие на геологическую среду, в том числе на поверхностные и подземные воды. Основными загрязняющими компонентами являются бор, хром, железо, нитраты, калий, магний. Существенную угрозу в части загрязнения подземных вод представляют нефтебазы и автозаправочные станции. В целом по области процессы техногенеза в региональном аспекте на величину ресурсов подземных вод практически влияния не оказывают [Yermekbayev et al., 2023: 658–666; Smolyar et al., 2025: 227].

ЛИТЕРАТУРА

- Абсаметов, М. К. (ред.). (2020). Рациональное использование и охрана подземных вод Республики Казахстан в условиях климатических и антропогенных изменений. Алматы: Print Express.
- Абсаметов М., Жакибаева А., Муртазин Е., Ливинский Ю., Джабасов А. (2023). Оценка обеспеченности, состояния и перспектив использования ресурсов подземных вод для питьевого водообеспечения Западно-Казахстанского региона // *География и водные ресурсы*, 2, 3–15. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2023-2-3-15.7>.
- Алимаев И., Скоринцева И., Басова Т., Крылова В. (2017). Устойчивое управление пастбищными ресурсами Казахстана с использованием ГИС-технологий // *География и водные ресурсы*, 2, 64–74.
- Байшоланов С., Абдрахметов М., Аблайсанова Г. (2020). Оценка уязвимости пастбищ Южного Казахстана к изменению климата // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 1 (375), 190–203. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-1-190-203>.
- Безбородов Ю., Балгабаев Н., Хожанов Н., Устабаев Т. (2022). Обводнение отгонных пастбищ аридной зоны Республики Казахстан // *Природообустройство*, 3(3), 27–34. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-3-27-34>.
- Махамбетов М., Изимова А., Хамит А., Койшыгулова Г. (2024). Влияние изменения климата на пастбищные экосистемы Атырауской области Республики Казахстан // *Yessenov Science Journal*, 3(48), 157–169. <https://doi.org/10.56525/NAHP2391>.
- Омбаев А., Мирзакулов С., Чиндалиев А. (2023). Научно-технологические аспекты развития животноводства Казахстана // *Izdenister, Natizheler — Research, Results*, 3(99), 36–48. <https://doi.org/10.37884/3-2023/04>.
- Сводный аналитический отчет о состоянии и использовании земель Республики за 2023 год, Астана (2023).
- Смоляр В.А., Буров Б.В., Мустафаев С.Т. (2011). Ресурсы подземных вод Республики Казахстан. *Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление* (Т. VIII). Алматы.
- Сундетова П., Муратова С., Мақыжанова А., Омирзакова Э. (2025). Оценка запасов подземных вод для обводнения пастбищ на территории Южного Мангышлака // *Труды университета*, 3(100), 94–100. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2025_3_94.
- Тумлерт В., Онаев М. (2020). Обводнение пастбищ Западного Казахстана: Современное состояние и перспективы использования // *International scientific journal «Science and World»*, 1(77), 24–26.
- Bezborodov, Y., Balgabaev, N., Khozhanov, N., & Ustabaev, T. (2022). Technology for salt brines utilization on distant pastures in the arid zone of the Republic of Kazakhstan // *E3S Web of Conferences*, 361, 03003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236103003> [in Eng.].
- Costa, D., Santos, J., & Chambel, A. (2025). Five decades of groundwater change across a diverse Mediterranean climate region: Disentangling natural and human drivers of water quantity and quality // *Science of The Total Environment*, 1006, 180925. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180925> [in Eng.].
- Jialan Deal (2025). Explainer: Groundwater // *International Water Management Institute*. <https://www.iwmi.org/news/explainer-groundwater/> [in Eng.].
- Makhambetov, M., Izimova, R., Isengalieva, G., & Gataulina, G. (2025). Ecological assessment of the condition of pastures in the Aktobe region // *Eurasian Journal of Ecology*, 82(1), 145–154. <https://doi.org/10.26577/eje2025821013> [in Eng.].
- Ongayev, M., Denizbayev, S., Umbetkaliyev, N., Yesmagulova, B., Shadyarov, T., Ozhanov, G. (2022). The Zonality of Underground Water Supply Sources for Pastures in the West Kazakhstan Region // *Journal of Ecological Engineering*, 23(8), 56–65. <https://doi.org/10.12911/22998993/150612> [in Eng.].
- Pavelic, P., Giordano, M., Keraita, B., Ramesh, V., & Rao, T. (Eds.). (2012). Groundwater availability and use in Sub-Saharan Africa: A review of 15 countries // *Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI)*. <https://doi.org/10.5337/2012.213> [in Eng.].
- Smolyar, V., Adenova, D., Rakhimov, T., Ayazbayev, R., Nyssanbayeva, G., Kerimkulova A. (2025). Zoning of the Territory of Southern Kazakhstan Based on the Conditions of Groundwater Availability for Watering Pasture Lands // *Hydrology*, 12(9), 227. <https://doi.org/10.3390/hydrology12090227> [in Eng.].
- Tazhiyev, S., Murtazin, Ye., Sotnikov, Ye., Rakhimova, V., Abdizhalel, M., Yerezhep, D.; Adenova, D. (2025). Geoinformation and Analytical Support for the Development of Promising Aquifers for Pasture Water Supply in Southern Kazakhstan // *Water*, 17(9), 1297. <https://doi.org/10.3390/w17091297> [in Eng.].
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2024). The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and

peace – Executive summary (SC-2024/WS/1). UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388950_rus

Yermekbayev, B., Dzhangarasheva, N., & Rakhimzhanova, G. (2023). Overview of Grazing as a Land Use System in Kazakhstan // *Evergreen Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences and Green Asia Strategy*, 10(02), 658–666. <https://doi.org/10.5109/6792812> [in Eng.].

REFERENCES

Absametov, M. K. (Ed.). (2020). Ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana podzemnykh vod Respubliki Kazakhstan v usloviyakh klimaticheskikh i antropogennykh izmeneniy [Rational use and protection of groundwater resources of the Republic of Kazakhstan under conditions of climatic and anthropogenic changes]. *Almaty: Print Express*.

Absametov, M., Zhakibayeva, A., Murtazin, Y., Livinskiy, Y., Jabassov, A. (2023). Ocenka obespechennosti, sostoyaniya i perspektiv ispol'zovaniya resursov podzemnykh vod dlya pit'evogo vodoobespecheniya Zapadno-Kazhastanskogo regiona [Assessment of supportability, condition and the outlook for the groundwater resources use for drinking water supply in the West Kazakhstan region] // *Geography and water resources*, 2, 3–15. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2023-2-3-15.7> [in Russ.].

Alimaev, I., Skorinceva, I., Basova, T., Krylova, V. (2017). Ustojchivoe upravlenie pastbishchnymi resursami Kazakhstana s ispol'zovaniem GIS-tekhnologij [Sustainable management of pasture resources in Kazakhstan using GIS technologies] // *Geography and water resources*, 2, 64–74 [in Russ.].

Baisholanov, S., Abdrahmetov, M., & Ablaisanova, G. (2020). Ocenka uyazvimosti pastbishch YUzhnogo Kazakhstana k izmeneniyu klimata [Vulnerability of the pastures of Southern Kazakhstan to climate change] // *Hydrometeorological research and forecasting*, 1 (375), 190–203. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-1-190-203> [in Russ.].

Bezborodov, Y., Balgabaev, N., Khozhanov, N., & Ustabaev, T. (2022). Watering of distant pastures of the arid zone of the republic of Kazakhstan [Obvodnenie otgonnykh pastbishch aridnoy zony Respubliki Kazakhstan] // *Prirodoobustroystvo*, 3(3), 27–34. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2022-3-27-34> [in Russ.].

Bezborodov, Y., Balgabaev, N., Khozhanov, N., & Ustabaev, T. (2022). Technology for salt brines utilization on distant pastures in the arid zone of the Republic of Kazakhstan // *E3S Web of Conferences*, 361, 03003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236103003> [in Eng.].

Costa, D., Santos, J., & Chambel, A. (2025). Five decades of groundwater change across a diverse Mediterranean climate region: Disentangling natural and human drivers of water quantity and quality // *Science of The Total Environment*, 1006, 180925. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180925> [in Eng.].

Makhambetov, M., Izimova, R., Khamit, A., Koishygulova, G. (2024). Vliyanie izmeneniya klimata na pastbishchnye ekosistemy Atyrauskoj oblasti Respubliki Kazakhstan [Impact of climate change on pastoral ecosystems of Atyrau region of the Republic of Kazakhstan] // *Yessenov Science Journal*, 3(48), 157–169. <https://doi.org/10.56525/NAHP2391> [in Russ.].

Makhambetov, M., Izimova, R., Isengalieva, G., & Gataulina, G. (2025). Ecological assessment of the condition of pastures in the Aktobe region // *Eurasian Journal of Ecology*, 82(1), 145–154. <https://doi.org/10.26577/eje2025821013> [in Eng.].

Svodnyj analiticheskij otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Respubliki za 2023 god [Consolidated analytical report on the status and use of land in the Kazakhstan for 2023], Astana (2023) [in Russ.].

Smolyar, V. A., Burov, B. V., Mustafaev, S. T. (2011). Resursy podzemnykh vod Respubliki Kazakhstan [Groundwater resources of the Republic of Kazakhstan]. In *Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie* (Vol. VIII). Almaty.

Sundetova P., Muratova S., Makyzhanova A., Omirzakova E. (2025). Ocenka zapasov podzemnykh vod dlya obvodneniya pastbishch na territorii YUzhnogo Mangyshlaka [Assessment of groundwater reserves for watering pastures in the territory of Southern Mangyshlak] // *Trudy Universiteta*, 3(100), 94–100. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2025_3_94 [in Russ.].

Smolyar, V., Adenova, D., Rakhimov, T., Ayazbayev, R., Nyssanbayeva, G., Kerimkulova A. (2025). Zoning of the Territory of Southern Kazakhstan Based on the Conditions of Groundwater Availability for Watering Pasture Lands // *Hydrology*, 12(9), 227. <https://doi.org/10.3390/hydrology12090227> [in Eng.].

Tumlert, V., Onaev M. (2020). Obvodnenie pastbishch Zapadnogo Kazakhstana: Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya [Watering of pastures in Western Kazakhstan: Current state and prospects for use] // *International scientific journal «Science and World»*, 1(77), 24–26 [in Russ.].

Tazhiyev, S., Murtazin, Ye., Sotnikov, Ye., Rakhimova, V., Abdizhalel, M., Yerezhap, D.; Adenova, D. (2025). Geoinformation and Analytical Support for the Development of Promising Aquifers for Pasture Water Supply in Southern Kazakhstan // *Water*, 17(9), 1297. <https://doi.org/10.3390/w17091297> [in Eng.].

Jialan Deal (2025). Explainer: Groundwater // *International Water Management Institute*. <https://www.iwmi.org/news/explainer-groundwater/> [in Eng.].

Ombaev A., Mirzakulov S., CHindaliev A. (2023). Nauchno-tehnologicheskie aspekty razvitiya zhivotnovodstva Kazakhstana [Scientific and technological aspects of livestock development in Kazakhstan] // *Izdenister, Natizheler — Research, Results*, 3(99), 36–48. <https://doi.org/10.37884/3-2023/04> [in Russ.].

Ongayev, M., Denizbayev, S., Umbetkaliyev, N., Yesmagulova, B., Shadyarov, T., Ozhanov, G. (2022). The Zonality of Underground Water Supply Sources for Pastures in the West Kazakhstan Region // *Journal of Ecological Engineering*, 23(8), 56–65. <https://doi.org/10.12911/22998993/150612> [in Eng.].

Pavelic, P., Giordano, M., Keraita, B., Ramesh, V., & Rao, T. (Eds.). (2012). Groundwater availability and use in Sub-Saharan Africa: A review of 15 countries // *Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI)*. <https://doi.org/10.5337/2012.213> [in Eng.].

UNESCO World Water Assessment Programme. (2024). The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace – Executive summary (SC-2024/WS/1). UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388950_rus

Yermekbayev, B., Dzhangarasheva, N., & Rakhimzhanova, G. (2023). Overview of Grazing as a Land Use System in Kazakhstan // *Evergreen Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences and Green Asia Strategy*, 10(02), 658–666. <https://doi.org/10.5109/6792812> [in Eng.].

Нургазиева Асел Азаткалиевна, анализ и обработка полученных экспериментальных данных, интерпретация результатов и подготовка научной публикации.

Тоқтар Әлия Толеубайқызы, сбор и анализ литературных данных, подготовка иллюстраций.



M.S. Tolgambayev¹, M.K. Baybatshanov^{1*}, A.T. Zhubanyshova¹, V.O. Salovarov²

¹Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan;

²Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsk, Russia.

E-mail: mukhtar.baibatshanov@kaznaru.edu.kz

DETERMINATION OF POPULATION DENSITY BASED ON THE RESULTS OF SAIGA ANTELOPE POPULATION COUNTS

Tolgambayev Madiyar Salimovich, 2nd year doctoral student of the «Kazakh National Agrarian Research University», Department of Forest Resources, Hunting and Aquaculture, study program 8D08301-Hunting and Animal Husbandry. Kazakhstan, 050010, Almaty, Abai Avenue, 8

E-mail: madiyar_ts@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1672-060X>;

Baybatshanov Mukhtar Kasenuly, Candidate of Agricultural Sciences, Ass. Professor of the Department of Forest Resources, Hunting and Aquaculture. Kazakhstan, Almaty region, Karasai district, Kemertogan village, Zhaiyk street, 67

E-mail: mukhtar.baibatshanov@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-3679-5381>;

Zhubanyshova Anar Temirkhanovna, Master of Agricultural Sciences, Senior lecturer of the Department «Forest Resources, Hunting and Aquaculture». Kazakhstan, Almaty city, Alatau district, md. Algabas, Akzharma street, 10

E-mail: anar.zhubanyshova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-4981-7676>;

Viktor Olegovich Salovarov, Doctor of Biological Sciences and Professor of the Department of Game Management and Bioecology at Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Yezhevsky. Russia, Irkutsk oblast, Molodezhny settlement, 1/1

E-mail: zoothera@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9136-9572>.

Abstract. The article examines the determination of the saiga antelope population density based on population census activities. During the population surveys, seasonal migration routes, aggregation areas, and population structure of saiga antelopes were comprehensively analyzed. The results of the study indicate that census activities should be completed before saigas congregate at calving or breeding sites, as delayed surveys significantly complicate animal counting and increase stress levels in pregnant females. It was determined that, depending on the population status, saiga population counts should be completed by April 15–20. Due to the increase in population size and density, issues related to the accuracy and reliability of estimating large aggregations of saiga antelopes have arisen in the Ural and Betpak-Dala populations, leading to a decrease in the precision of census results. In this regard, taking into account the developed census methodology, approaches to improving aerial surveys using aircraft-based aerial photography are proposed. It was established that, instead of 40 flight hours, 50 flight hours are required to improve survey effectiveness. To enhance the quality of population counts and monitoring under conditions of high population density, it is recommended to annually mark selected individuals in each population. This will allow tracking the timing and general patterns of movements and optimizing census survey areas. Additionally, it is recommended to further develop a saiga population monitoring system in cooperation with local hunting and wildlife management specialists.

Keywords: saiga, endemic, population, biotechnology, monitoring, abiotic factors, mammals, biotic factors, poaching, colony, migration

For citation: Tolgambayev M.S., Baybatshanov M.K., Zhubanyshova A.T. (2026). Determination of population density based on the results of saiga antelope population counts // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 194–202. <https://doi.org/10.37884/3-2026/16> [in Kaz.].

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

Acknowledgements: The authors of the article express their gratitude to Okhotzooprom Production Association for supporting the research work.

М.С. Толгамбаев¹, М.К. Байбатшанов^{1*}, А.Т. Жубанышова¹, В.О. Саловаров²

¹Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, КЕАҚ, Алматы, Қазақстан

²А.А. Ежевский атындағы Иркутск мемлекеттік аграрлық университеті, Иркутск, Ресей.

E-mail: mukhtar.baibatshanov@kaznaru.edu.kz,

АҚБӨКЕНДЕРДІҢ САН БАСЫН ЕСЕПKE АЛУ ЖҰМЫСТАРЫ БОЙЫНША ПОПУЛЯЦИЯ ТЫҒЫЗДЫҒЫН АНЫҚТАУ

Толгамбаев Мадияр Салимович, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, «Орман ресурстары, аңшылықтану және аквакультура» кафедрасының, 8D08301-Аңшылықтану және аң шаруашылығы оқу бағдарламасының 2-ші курс докторанты. Қазақстан, 050010, Алматы, Абай даңғылы, 8 үй

E-mail: madiyar_ts@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1672-060X>;

Байбатшанов Мухтар Касенұлы, ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, «Орман ресурстары, аңшылықтану және аквакультура» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қазақстан, Алматы облысы, Қарасай ауданы, Кемертоған ауылы, Жайық көшесі, 67

E-mail: mukhtar.baibatshanov@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-3679-5381>;

Жубанышова Анар Темирхановна, ауыл шаруашылық ғылымдарының магистры, Орман ресурстары, аңшылықтану және аквакультура» кафедрасының аға оқытушысы, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Алатау ауданы, Алғабас ықшам ауданы, Ақжарма көшесі, 10

E-mail: anar.zhubanyshova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-4981-7676>;

Виктор Олегович Саловаров, биология ғылымдарының докторы, А.А. Ежевский атындағы Иркутск мемлекеттік аграрлық университетінің «Аңшылықтану және биоэкология» кафедрасының профессоры. Ресей, Иркутск облысы, Иркутск ауданы, Молодёжный кенті, 1/1

E-mail: zooothera@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9136-9572>.

Аннотация. Мақалада ақбөкендердің сан басын есепке алу жұмыстары бойынша популяция тығыздығын анықтау қарастырылады. Ақбөкен популяцияларын есепке алу барысында олардың маусымдық миграциялық бағыттары, шоғырлану аймақтары және құрылымы кешенді түрде талданды. Зерттеу нәтижелері ақбөкендердің ойнақтау не көбею орындарына жиналғанға дейін аяқталуы керектігі, кеш жүргізілген есептік санақ жануарларды санауды қиындататыны және ол буаз аналықтар үшін стрестік жағдайлардың арттыратындығы және есепке алу жұмыстары ақбөкендердің популяциясына байланысты 15–20 сәуірге дейін аяқталғаны дұрыс екені анықталды. Ақбөкендердің саны мен тығыздығының артуына байланысты санақ нәтижелері дәлдігінің төмендеуіне Орал және Бетпақдала популяциясында ақбөкендер санындағы үлкен топтардың бағалаудың дәлдігі, сенімділігі мәселесі туындап отыр. Осыған байланысты, ақбөкендерді есептік санаудың әзірленген әдістемесін ескере отырып, оларды көбірек әуедегі ұшақтан аэрофототүсіруді жетілдіру жолдары ұсынылды. Аумақтағы ұшақтарға 40-сағаттық ұшудың орнына 50-сағаттық ұшу керектігі анықталды. Популяцияның тығыздығы жоғары жағдайларда санау және мониторинг сапасын жақсарту үшін жыл сайын әр популяциядағы іріктелген ақбөкендерді таңбалау қажет, бұл қозғалыстардың уақыты мен жалпы сипатын бақылауға және есептік санақ аймақтарын оңтайландырады. Жергілікті аңшы мамандармен біріге отырып, ақбөкендердің сан басына мониторинг жүргізу жүйесін дамытып отыру керектігі ұсынылды.

Түйін сөздер: ақбөкен, эндемик, популяция, биотехния, мониторинг, сүтқоректілер, биотикалық факторлар, биотикалық факторлар, браконьерлік, колония, фототұзақ, есепке алу, миграция

Дәйексөз үшін: Толгамбаев М.С., Байбатшанов М.К., Жубанышова А.Т. (2026). Ақбөкендердің сан басын есепке алу жұмыстары бойынша популяция тығыздығын анықтау // Research, results – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 194–202. <https://doi.org/10.37884/3-2026/16> [In Kaz.].

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

Алғыс білдіру: мақала дайындаған авторлар Охотзоопром ӨБ-не ғылыми зерттеу жұмыстарына қолдау бергені үшін алғыс айтады.

М.С. Толгамбаев¹, М.К. Байбатшанов^{1*}, А.Т. Жубанышова¹, В.О. Саловаров²

¹АО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Алматы, Казахстан;

²Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Иркутск, Россия.

E-mail: mukhtar.baibatshanov@kaznaru.edu.kz

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ САЙГАКОВ

Толгамбаев Мадияр Салимович, докторант 2 курса НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», кафедры «Лесные ресурсы, охотоведение и аквакультура», учебной программы 8D08301-Охотоведение и звероводство. Казахстан, 050010, Алматы, пр.Абая, 8

E-mail: madiyar_ts@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1672-060X>;

Байбатшанов Мухтар Касенулы, кандидат сельскохозяйственных наук, асс. профессор кафедры «Лесные ресурсы, охотоведение и аквакультура». Казахстан, Алматинская область, Карасайский район, село Кемертоган, улица Жайык, 67

E-mail: mukhtar.baibatshanov@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-3679-538>;

Жубанышова Анар Темирхановна, магистр сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры «Лесные ресурсы, охотоведение и аквакультура». Казахстан, Алматы, Алатауский район, мкр. Алгабас, улица Акжарма, 10

E-mail: anar.zhubanyshova@kaznaru.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0004-4981-7676>;

Саловаров Виктор Олегови, доктор биологических наук, профессор кафедры охотоведения и биоэкологии Иркутского государственного аграрного университета. Россия, Иркутская область, Иркутский район, посёлок Молодёжный 1/1

E-mail: zoothera@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9136-9572>.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы определения плотности популяции сайгаков на основе работ по учету их численности. В процессе учета популяций сайгаков комплексно проанализированы их сезонные миграционные маршруты, районы концентрации и структура популяций. Результаты исследования показали, что учетные работы должны быть завершены до начала концентрации сайгаков в местах гона или размножения, поскольку позднопроведенный учет значительно осложняет процесс подсчета животных и увеличивает уровень стрессового воздействия на беременных самок. Установлено, что в зависимости от состояния популяции учет численности сайгаков целесообразно завершать до 15–20 апреля. В связи с ростом численности и плотности популяций сайгаков в Уральской и Бетпакдалинской популяциях возникла проблема точности и надежности оценки численности крупных скоплений животных, что приводит к снижению достоверности учетных данных. В этой связи, с учетом разработанной методики учета сайгаков, предложены пути совершенствования аэросъемки с использованием авиационных средств. Установлено, что для повышения эффективности учета необходимо увеличить продолжительность авиационных вылетов с 40 до 50 летных часов. Для повышения качества учета и мониторинга в условиях высокой плотности популяций рекомендуется ежегодно осуществлять мечение отобранных особей в каждой популяции, что позволит отслеживать сроки и общий характер миграций, а также оптимизировать зоны проведения учетных работ. Кроме того, предложено развивать систему мониторинга численности сайгаков в сотрудничестве с местными специалистами-охотоведами.

Ключевые слова: сайгак, эндемик, популяция, биотехния, мониторинг, абиотические факторы, млекопитающие, биотические факторы, браконьерство, колония, миграция

Для цитирования: Толгамбаев М.С., Байбатшанов М.К., Жубанышова А.Т. (2026). Определение плотности популяции по результатам учета численности сайгаков // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Іс. 3. Number 111. Рр. 194–202. <https://doi.org/10.37884/3-2026/16> [In Kaz.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: авторы статьи выражают благодарность производственному объединению «Охотзоопром» за поддержку научно-исследовательской работы.

Кіріспе.

Глобализацияның жеделдеуі – әлемдік экономиканың интеграциялануының объективті үдерісі болып табылады және бұл барлық қолжетімді ресурстардың шаруашылық айналымына тартылуына алып келеді. Мұндай ықпал ең алдымен табиғи кешендердің жағдайына теріс әсерін тигізеді. Осыған байланысты табиғи экожүйелерді ұзақ мерзімді негізде сақтау, әсіресе олардың аса маңызды құрамдас бөлігі болып саналатын биологиялық алуан түрлілікті қорғау мәселелерін шешу қажеттілігі туындайды. Экологиялық факторлар да ақбөкен популяциясының жағдайына елеулі ықпал етті [Слудский 1955: 66.; Serikbayeva et al., 2023: 83].

Негізгі әсер етуші фактор – жаһандық климаттың жылынуы. 1980-жылдардан бастап Солтүстік жарты шар бойынша орташа жылдық ауа температурасының тұрақты өсуі байқалады, ал ХХІ ғасырдың басында бұл көрсеткіш соңғы 120 жыл ішіндегі абсолюттік максимумға жетті. Соңғы 30 жылда ауа температурасының орташа аномалиялары 0,17 °С-тан 0,64 °С-қа дейін көтеріліп, шамамен 3,7 есеге артты. Осы тенденция Солтүстік жартышар аумағында, соның ішінде Қазақстанда, аридизация үрдісінің күшеюіне алып келді. Мұндай жағдай жазғы кезеңде ақбөкендердің жасыл өсімдіктерге бай жайылымдарды іздеп, ареалдың солтүстік бөліктеріне, тіпті республикадан тыс аумақтарға миграция жасауға мәжбүрлейді [Плахов 2009: 198.; Байбатшанов et al., 2019: 327].

Қазақстанда кәсіпшілік және әуесқойлық жануарлардың, оның ішінде сүтқоректілердің қорларын ұтымды пайдалану, сондай-ақ сирек кездесетін және жойылып бара жатқан түрлерді сақтау мен қалпына келтірудің экологиялық негіздерін дайындау және жануарлар дүниесінің мемлекеттік кадастрын құру үшін жануарларды жыл сайын есептеу жүргізіледі. Елімізде жануарлар санағының әдістері бірыңғай жоспармен жасалады, онда қазіргі уақытта қолданылатын санақтың тәсілдері мен олардың экологиялық негіздемелері, санақты жүргізу аймақтары мен жүргізу мерзімдері қаралады [Мелдебеков et al., 2014.: 5; Хамчукова et al., 2023: 359].

Елімізде ақбөкеннің қазіргі таралуы дала, шөл және шөлейт аймақтарды қамтиды. Қазір ақбөкен биоценоздың маңызды компоненттерінің бірі ретінде өте маңызды рөл атқарады. Осы кезеңдерде ақбөкеннің басы Қазақстанның жабайы тұяқтыларының жиынтық санынан асып түседі. Екінші маңызды қауіп - жабайы фаунадан аурулардың пайда болу және таралу қаупі. Үй жануарлары мен жабайы жануарлардың көп типті биоценозы табиғатта бактериялық, вирустық және паразиттік аурулардың қоздырғыштарын сақтау және тарату үшін ең қолайлы жағдай жасайды [Фадеев 1980: 212-213.; Толгамбаев et al., 2025: 419].

Жабайы жануарлардың жоғары тығыздығы жануарлар арасындағы аурулардың таралу ықтималдығын арттыратыны белгілі [Байбатшанов және т.б. 2019: 327.; Bekenov et al., 2001: 134] Қазіргі жағдайда түрдің жалпы популяциясына әсер етудің барлық факторларын ескере отырып, Қазақстанда ақбөкен ресурстарын тұрақты басқару және ұтымды пайдалану жүйесін құру қажеттілігі туындады.

Әдісі және материалдары.

Ақбөкендердің санын және популяция тығыздығын анықтау – олардың экологиялық жағдайын бағалауда, қорғау шараларын жоспарлауда және популяция динамикасын бақылауда негізгі ғылыми міндеттердің бірі. Популяция тығыздығын анықтау: нақты ареалда бір шаршы километрге шаққандағы ақбөкен саны; популяцияның кеңістікте қалай таралғанын; шоғырлану және көшу аймақтарындағы жануарлар жинақталу деңгейін бағалау үшін қажет [Толгамбаев et al., 2025: 419.; Фадеев 1978: 10].

Бүгінгі күні ақбөкендердің қазіргі жағдайын жан-жақты зерттеп, популяциялардың даму барысын бағалау және оларды тұрақты сақтау мен ұтымды пайдалану перспективаларын айқындау қажеттілігі туындап отыр [Bekenov et al., 2001: 134]. Сондықтан: қазіргі популяциялық жағдайын және олардың тіршілігіндегі негізгі тенденцияларды талдау; ірі эпизоотиялар мен зооноздық инфекциялардың, әсіресе пастереллездің пайда болу себептерін айқындау; табиғи ресурстарға зиян келтірмей, егістік алқаптарын бүлдірмей және эпизоотиялық қауіпсіздікті сақтауға мүмкіндік беретін сайгактардың рұқсат етілетін немесе оңтайлы санын анықтау мүмкіндігін қарастыру; популяцияны тұрақты деңгейде ұстап тұруға бағытталған ғылыми және практикалық әдістерді әзірлеу; алынған нәтижелерді монография түрінде жүйелеу және оларды болашақтағы практикалық жұмыстарға арналған ғылыми негізделген ұсыныстар жасау үшін пайдалану [Serikbayeva et al., 2023: 83.; Bekenov

et al., 2001: 134]

ҚР Ауыл шаруашылығы министрінің 2015 жылғы 16 ақпандағы № 18-03/106 бұйрығына сәйкес, ақбөкен аңшылық пен балық аулаудың нысаны болып табылатын жануарлар түрлерінің санатына жатқызылған. Ол – экспорттық шикізаттың, еттің және былғары өнімдерінің көзі ретінде Қазақстан экономикасы үшін маңызды биологиялық ресурс. Еліміздегі ақбөкендер 40 жылдан астам уақыт бойы кәсіптік ауланатын жануар ретінде саналды [Фадеев 1978: 10.; Толгамбаев et al., 2025: 419].

1990-жылдары санының күрт төмендеуінен кейін ақбөкен аулауға тыйым салынды және бұл тыйым 2023 жылға дейін ұзартылып отырды. Осы кезеңде қорғау шараларының арқасында Бетпақдала популяциясының саны қалпына келіп, бұрынғы деңгейден де асып түсті [Толгамбаев et al., 2025: 298–306]. Санының артуы салдарынан ақбөкендермен үй жануарлары арасында жайылым мен суат үшін бәсекелестік күшейді, сондай-ақ ақбөкендердің ауыл шаруашылығы дақылдары егілген алқаптарға жиі кіруі жергілікті тұрғындармен жанжалдарға себеп болды. Осы себепті ақбөкен санын реттеудің қажеттілігі айқын көрінді және 2023 жылғы 19 қыркүйектегі № 263 бұйрықпен ақбөкен саны реттеуге жататын түрлер тізіміне енгізілді [Хамчукова et al., 2023: 359.; Толгамбаев et al., 2025: 419].

Зерттеу нәтижелері және оны талдау.

Қазақстан Республикасы ауыл шаруашылығы министрлігінің 2005 жылғы №191 бұйрығымен бекітілген «Қазақстандағы ақбөкендерге әуе санағын жүргізудің әдістемелік нұсқаулығына» сәйкес Ғылым және жоғары білім министрлігіне қарасты Зоология институтымен және «Охотзоопром» АҚБК өңірлік қоғамдық ұйымымен 2006–2015 жылдары әзірленген техникалық жетілдірулер мен түсіндірулерді пайдалана отырып, келісімшарттың техникалық сипаттамасына орай әуе санақтары жүргізілді. Қазақстандағы ақбөкендер киіктерінің әуе санағын жүргізу бойынша әдістемелік ұсынымдар Орман шаруашылығына қатысты Ғылыми-техникалық кеңесінің 2014 жылғы 17 наурыздағы шешімімен бекітілді [Serikbayeva et al., 2023: 86.; Толгамбаев et al., 2025: 411]

Айта кету керек, соңғы әдістемелік нұсқаулар 2014 жылғы әдістемелік нұсқаулардың қайта қаралған нұсқасы болып табылады және санау жолағының ені, ұшу биіктігі, экстаполяциялау әдісі және кейбір техникалық жетілдірулер - GPS-ті пайдалану, маркерлерді бекіту, фотоаппаратураны орнату және т.б. туралы маңызды түсініктемелерді қамтиды [Толгамбаев et al., 2025: 411.; Плахов 2009: 198].

2014 жылдан бастап санақ бұрын нақтыланған және сыналған ұсыныстарға сәйкес жүргізіліп келеді, бұл олардың сенімділігі мен алынған нәтижелердің сапасының жақсарғанын көрсетті. Сәйкесінше, 2025 жылы әуе зерттеулерінің нәтижелерінің салыстырмалылығына кепілдік беретін ұқсас тәсілдер қолданылды.

Ақбөкендерді санау тікұшақты пайдалану кезінде әуе кемесінің бағытының әр жағында 600 м жолақта, ал ұшақты пайдалану кезінде әуе кемесінің әр жағында 200-ден 800 м-ге дейінгі жолақтарды қамтып жүргізілді. Айырмашылықтар ұшақтың дизайнына және әр түрлі көрінуге, сондай-ақ әр түрлі маркер опцияларына байланысты болды. Ұшу-қону жолағының ені ұшаққа орнатылған маркерлердің көмегімен анықталған. Санақ жолдары жануарлар топтарының тығыздығына байланысты әр 5 және 10 километр сайын салынды, яғни тығыздығы жоғары жерлерде маршруттар жиі жүрді.

Ақбөкендердің барлық көріністері Garmin Etrex 20 кигізілетін спутниктік навигаторлармен тіркелді. Көрнекі түрде есептелген ақбөкендердің саны арнайы деректер формаларында тіркелді. Ақбөкендердің көпшілігі санақшыға – есепшіге кедергі келтірмеу үшін иллюминатордың шетіне орнатылған камералармен қосымша тағы суретке түсірілді.

Есептеу бағыттары күн сайын, жедел деректерге байланысты түзетумен барлық қатысушы ұйымдардың – орман шаруашылығы институты, «АСБК» РМК, «Охотзоопром» РМК, ҚР Жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің «Зоология институты» РМК, «DALA Air» ЖШС және «DAP Aeroservice Group» ЖШС өкілдерінің қатысуымен және басқа да барлық қатысушы ұйымдардың өкілдерінің қатысуымен алдын ала жоспарланды. Бұрылыс нүктелері ұшу экипажына жіберілді және келесі күннің жұмысын қамтамасыз ету үшін ұшақтың ұшу бағдарына енгізіліп отырды.

Ақбөкендер санағы басталғанға дейін әр популяцияда ақбөкендердің әуе санақтары бойынша оқыту тренингі жүргізілді. Санау жолағының енін бақылау және санау жолағының ішіндегі ақбөкендерді санау мәселесіне ерекше назар аударылды. Есепке алу аймағында және одан тыс жерлерде жануарлар ақбөкендер топтарының мөлшері мен орналасуын анықтаудағы негізгі қиындықтар, жұмыс барысында қажетті жағдайларды сақтау үшін маркерлерді қолдану және т.б. атап өтілді әрі нақты талқыланды.

Қатысушыларға санақты тіркеу парақтары берілді және рейстер кезінде осы парақшаларды толтырудың егжей-тегжейлі үлгісі мен мысалдары толық көрсетілді.

Презентациялау барысында ақбөкендерді аэрофототүсіру кезінде қолданылатын негізгі жабдықтар көрсетілді (фотоаппаратура және монтаждау, автоматты сигнал беру құрылғысы бар лазерлік биіктікті өлшегіш, GPS жабдықтары). Инспекторларға ақбөкендердің аэрофототүсірілімінде фотоаппаратурамен жұмыс істеу жолдары түсіндірілді және GPS-ті пайдалану бойынша негізгі түсініктер берілді. Тренинг аяқталған соң слайдтағы жануарларды санау бойынша барлық қатысушылармен практикалық жаттығулар жүргізілді.

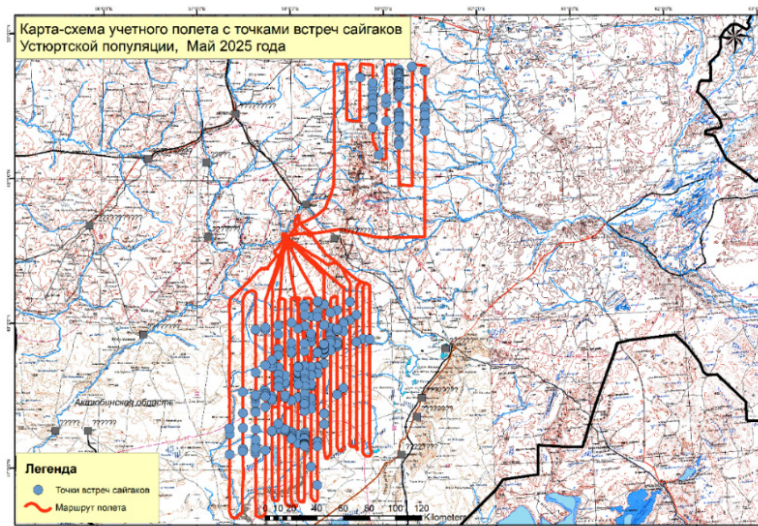
Сондай-ақ, тренинг барысында жұмысқа қатысушылардың көру қабілеті және ақбөкендерді бақылауларын қабылдау ерекшеліктері (қателіктер және т.б.) тексерілді. Тексеру нәтижелеріне сәйкес жұмыстағы алатын орындары: санақшылар немесе деректерді есепке тіркейтіндер болып анықталды.

Сондай-ақ, тренингтердің практикалық бөлігі өткізілді, оның құрамына GPS навигаторын пайдалану, ұшу басталғанға дейін тіркеу формаларын толтыру және есептеу маршруттары бар жерлерге жақындау кезінде алынған дағдыларды тікелей әуе кемесінің бортында қолдану енгізілді. Негізгі рейстер басталғанға дейін тікұшақ пен әуе кемесінің санақты тіркеу жолағының белгілері орнатылып, калибрленді. Калибрлеу үшін жерге ақ жалаушалар түріндегі маркерлер орнатылды. Санақ жолағының нақты ені тікұшаққа орнатылған таңбалау жолақтары (таспалар) арасындағы маркерлерді (жалаушаларды) есептеу арқылы тіркеледі. Осылайша, әр тарап үшін есептік санақ жолақтың ені есептеледі, ол одан әрі әр жолақтың ауданын есептеу үшін қолданылады. Маркерлер бұл есептік санақ жолағын, әсіресе ұшақта өте сенімді түрде бақылауға мүмкіндік береді.

Төмендегі графикте Бетпақдала популяциясы үшін радио биіктікті өлшегіш деректерін қолдана отырып, калибрлеу нәтижелері көрсетілген. Регрессиялық талдау нәтижесінде алынған көлбеудің орташа мәні есептік санау жолағының енін есептеу үшін қолданылады. Барлық популяция үшін маркерлер толығымен дерлік сенімді түрде орнатылды.

Үстірт популяциясы

Үстірт популяциясын аэрофототүсіру барысында оңтүстіктегі Шалқар-Бейнеу темір жолынан солтүстікте Ақшалақ өзеніне дейін, батыстағы Көлкелі тауынан шығыстағы Теренқұдыққа дейін, яғни санақтың негізгі аумағы Ақтөбе облысының Байыған және Шалқар аудандарының аумағына өтеді. Сонымен қатар, биыл алғаш рет Ембі өзенінің солтүстік-шығысындағы аудандар зерттелді, ол аудандарда ақбөкендердің едәуір саны пайда болғаны туралы ақпарат алынды (1-сурет).



Сур. 1. Үстірт популяциясы аумағында ұшу бағыттары мен ақбөкендердің таралу орындары
[Fig. 2. Geoinformation Map of Almaty Region]

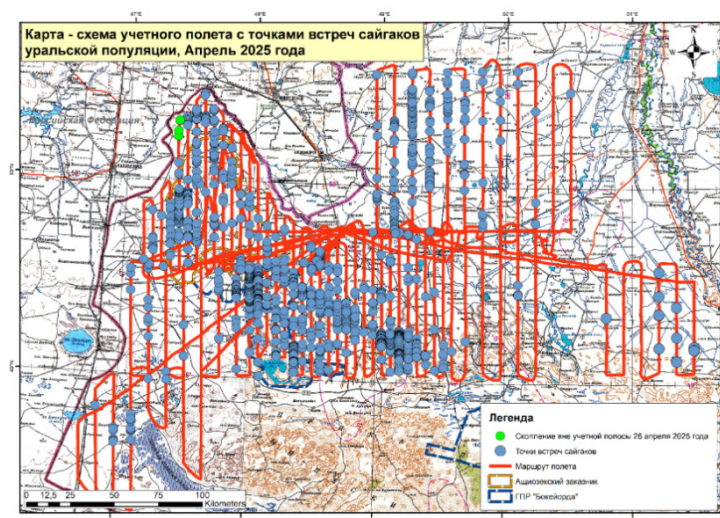
Үстірт популяциясы аумағында санақ жолдарының жалпы ұзындығы (санақ аймақтарына жақындау қашықтықтарын қоспағанда) 3578 км құрайды.

Үстірт популяциясында ақбөкен 2024 жылмен салыстырғанда жалпы саны біршама өсті. Сонымен қатар, биыл алғаш рет Шалқар-Ақтөбе темір жолы мен Мұғалжар тауларының солтүстігінде аэрофотоаппаратпен әуе санақ жүргізіліп, онда 21 мыңға жуық бас ақбөкендердің едәуір тобы табылды. Олар Үстірт популяциясының қатарына кірді, дегенмен олардың темір жолдың оңтүстігіндегі ақбөкендермен байланысы проблемалы болып табылады. Бетпақдала популяциясымен қосылу

қиындады, себебі бұл топтасту болмаса, онда Үстірт популяциясы өспейді, керісінше азайып кетеді. Жердегі мониторинг-бақылау деректері бірнеше стресс факторлары мен ақбөкендерге төнген қауіп-қатерге қарамастан, популяцияның жақсы жағдайда екенін көрсетеді. Жағдайды дәл бағалау тек санау ертерек жүргізілген жағдайда ғана мүмкін - яғни оңтайлы уақытта, осы популяция үшін күйлеу кезінде емес, 15–20 сәуірге дейін аяқталған кезде санақ жүргізген орынды. Сондай-ақ өткен жылдары мұнда санаққа тікұшақ пайдаланылған. Тікұшақтан санаудың қиындығы – ақбөкендер есептелетін санау жолағы тікұшақ терезесіндегі маркерлермен ғана шектелген. Санақшылар өзгергенде немесе иллюминатордағы позициясын өзгерткенде, санау жолағы едәуір ұлғаяды немесе азаяды. Оның арту ықтималдығы жоғары, бұл популяция санының шамадан тыс асыра бағалануына әкелуі мүмкін. Осы жылы маркерлер АН ұшағының қанаттарына бекітілген, бұл фотосуреттерде де есептік жолақтың шекараларын дәлірек анықтауға мүмкіндік береді. Бұл сондай-ақ Орал популяциясында болуы мүмкін тікұшақтан санағанға қарағанда төмен көрсеткіштерге әкелуі мүмкін. Үстірт популяциясын тіркеу үшін небәрі 40 ұшу сағаты бөлінді, бұл өте үлкен аумақ үшін жеткіліксіз. Мекендеу аймағының оңтүстік бөлігі санаққа енген жоқ. Болашақта әуе түсірілімдері үшін Үстірт популяциясына 50 сағат, ал Орал популяциясына 50 сағат бөлу қажет.

Орал популяциясы

Санақ барысында Орал өзенінің оң жағалауындағы аумақ Батыс Қазақстан облысының батыс шекарасына дейін, оңтүстігінде Қамыс-Самара көлдеріне дейін және солтүстікте Ресей Федерациясының Саратов облысымен шекарасына дейін, яғни Жайық-Орал тобының ақбөкендерінің таралуының бүкіл аумағы зерттелді. Батыс Қазақстан облысының Жәнібек, Қазтал, Орда, Жанқала, Тасқалы, Ақжайық аудандарының аумағы зерттелді (2-сурет). Орал популяциясының аумағындағы санақ маршруттарының жалпы ұзындығы (санақ аймақтарына жақындау қашықтығын есептемегенде) 5 793 км құрайды.



Сур.2. Орал популяциясы мекендейтін аймақтағы ақбөкендерге санақ жүргізудің ұшу бағыттары мен таралу орындары.
[Fig. 2. Aerial Survey Routes and Distribution Areas of Saiga Antelope in the Ural Population Range]

Әрбір популяциясының өзіндік ерекшелігі болады. Соған байланысты ақбөкеннің сан басы өзгеріп тұрады. Мысалы Орал популяциясы туралы мәліметтерді өте сақтықпен түсіндіру керек. Егер тек әуе санақ деректерін қарастыратын болсақ, Орал популяциясының саны өткен жылдағылармен салыстырғанда тұрақты, тек кейбір жылдары ғана төмен болды. Популяция өсімінің төмендеуінің түрлі себептері болуы мүмкін. Мысалы, қыста ақбөкендер арасында өлім-жітім деңгейі алдыңғы жылдарға қарағанда жоғары болуы ықтимал. Өлім-жітімнің өсуіне Орал популяциясының өте үлкен болуы да ықпал етеді, бұл кем дегенде кейбір жерлерде жайылымның тапшылығын тудыруы мүмкін. Ақбөкендер бұл жағдайда аштықтан өлуі мүмкін. Сонымен қатар, ақбөкендер тығыздықтың оңтайлы шегіне жеткенде көбеюдің төмендеуімен өсімді өздігінен реттей алады. Мысалы, ұрғашыларға қарағанда аталықтар көп туылуы мүмкін, ал бір туғандағы ұрпақтың саны да азаюы мүмкін. Жердің сыйымдылығынан асып түсетін максималды тығыздыққа қол жеткізу өте ықтимал нәрсе, өйткені популяция мөлшері барлық белгілі тарихи максимумдардан бірнеше есе жоғары, ал қолайлы мекендеу орындарының аумағы қысқарғанда, көші-қонға кедергілер пайда болады және т.б. жағдайлар орын алады. Көбеюге әсер етуі мүмкін тағы бір себеп - 2023 жылдың күз-қысында және 2024 жылдың

қысының басында жүргізілген ақбөкендер популяциясын реттеу. Ішін ара санаққа атып алу олардың санына әсер етпейді. Өсімге көбею кезіндегі басқа да мазасыздықтар әсер етуі мүмкін, өйткені үйірмен аулау; бұл жұптасуды бұзуы мүмкін және ұрғашылардың үлесін арттыруы мүмкін. Қысқы аң аулау өлім-жітімді арттырып, ақбөкендер үшін ең қолайлы жерлерден көшуге мәжбүр етуі мүмкін. 2025 жылдың көктемгі саны негізінен 2024 жылғы күйлеу нәтижелерімен анықталғанын, содан кейін 2024–2025 жылдардағы өлім-жітім оған әсер еткен. Өнімділік пен өсу қарқынының төмендеуіне ықпал етуі мүмкін тағы бір фактор – фермерлердің ақбөкендерді мал жайылатын аудандардан ығыстыру жөніндегі белсенді қызметтері. Бұл ақбөкендер үшін үлкен стресс және олар қолайлы емес мекендеу орындарына баруға мәжбүр болады, бұл олардың физикалық жағдайын нашарлатады және нәтижесінде, әсіресе қыста олар үшін өлімге әкелуі мүмкін. Табиғи факторлардан басқа, яғни өсімнің нақты айтарлықтай төмендеуіне адамдар мен техникаға қатысты бірқатар басқа себептер де санақтың есептеу көрсеткіштеріне әсер етуі мүмкін. Ақбөкендерді әуеден фото видеоға түсіруде әсер ететін ең маңызды фактор - аэротүсірілімдердің кеш басталуы. Сәуір айының соңына қарай ақбөкендер үлкен аймақтарға күйлеуге, ойнақтауға жиналады, бұл олардың есепке алынуын өте қиындатады. Неғұрлым сенімді нәтижеге қол жеткізу үшін оны ертерек орындау керек. Сонымен қатар фермерлер облыстың солтүстік-батысынан келген ақбөкендерді оңтүстікке, санақ қозғалысына қарай қуып жіберді. Үйірлердің алыс қашықтыққа осындай табиғи емес және жылдам қозғалысы олардың дәл есепке алынуын принципті түрде мүмкін емес етеді және ақбөкендердің белгісіз санын жіберіп алуына әкеледі.

Бетпақдала популяциясы

Ақбөкендер популяциясына санақ жүргізу барысында Ақмола, Ақтөбе, Қостанай, Қарағанды және Ұлытау облыстары аумағында ақбөкендердің негізгі үш тобы - негізгі Бетпақдала (Ырғыз-Торғай), Теңіз және Шығыс (Павлодар, Қарағанды және Абай облыстарының қиылысында) орналасқанын ескере отырып, ақбөкендер жүретін аумақтың аудандары зерттелді. Есептік санақ шығыс жақтағы топтарынан басталып, кейін ақбөкендердің Ырғыз-Торғай және Теңіз топтарында жалғасты. Бетпақдала популяциясының аумағында санақ жүргізудің әуе рейстерінің маршрутының жалпы ұзындығы 15 930 км құрайды. Санақ нәтижелері бойынша ақбөкендерді бақылау карталары, сондай-ақ санау аймақтарында олардың таралу тығыздығының карталары жасалды.

Ақбөкеннің бетпақдала популяциясындағы 2025 жылы санақ негізгі шоғырлануы бар барлық өңірлерде, соның ішінде Павлодар, Абай және Қарағанды облыстарының («шығыс») шоғырланған жерлерінде жүргізілді. 2021–2023 жылдары онда тек жерүсті мониторингі жүргізілді. Сонымен қатар, бұл шоғыр топ өте жылдам өсіп келеді, популяция санының өсімі орташа деңгейден асып түседі. Популяциялардың толық мөлшерін анықтау үшін әуе зерттеулерін жалғастыру туралы шешім қабылдаған кезде, болашақта осы аудандарға, сондай-ақ популяция аймағындағы басқа аудандарға ұшу сағаттарын бөлу ұсынылады, онда қазір түрлердің санының айтарлықтай өсуі байқалады. Торғай және Теңіз топтары тұрақты өсімді көрсетеді, бұл олардың аумақтарында жем-шөптің жеткілікті мөлшерін көрсетеді. Егер біз тек әуе зерттеулерінің деректерін ескеретін болсақ, онда популяция санының өсімі шамамен 22%-ды құрайды, бұл көрсеткіш өте жақсы. «Охотзоопром» мәліметтерін қосқанда өсім айтарлықтай артып, 39,1 %-ға жетті, бұл жалпы алғанда өткен жылдардағы көрсеткіштерге сәйкес келеді. Екі жағдайда да популяцияның жағдайы жақсы екенін растайды.

Қорытынды.

2025 жылы бекітілген әдістеме базалық негізгі әдістеме ретінде сақтала отырып, алдыңғы жылдары қолданылатын есептік санақтың жаңартылған әдістемесі толық қолданысқа енгізілді. Бүкіл санақ жүргізу кезінде камералар қолданылды, бұл сандық аппараттар жануарлардың кейбір топтарының санын дәлірек бағалауға мүмкіндік берді, өйткені ақбөкендердің үлкен топтарын көзбен көру арқылы санау мүмкін емес.

Жұмыстың нәтижелері ақбөкендердің саны туралы деректерді экстраполяциялаудың ең сенімді нәтижелерін алу үшін олардың ойнақтау не көбею үшін орындарға жиналуы басталғанға дейін әуеден фототүсірілімдерін аяқтау қажеттігін тағы бір мәрте көрсетті. Орташа ұзақ мерзімді көші-қон мен көбею кезеңдеріне сүйене отырып, барлық үш популяциядағы есептік санақ 15–20 сәуірге дейін аяқталуы керек (ауа-райы жағдайларына байланысты бұл әрдайым мүмкін емес екенін ескеріңіз). Елдің батысында Орал популяциясына санақ жүргізудің қазіргі басталу мерзімі, мүмкіндігінше ертерек болса, яғни қар ерігеннен кейін, әсіресе наурыз айының соңынан басталса орынды, себебі мекендеу орындары бұған жақсы мүмкіндік береді. Бұл жағдайда Үстірт популяциясын есептік санау 10 сәуірден

бастап жүргізіледі, бұл есептік санауды аса дәлірек етеді.

Ақбөкендердің санына есептік санақ жүргізудің басқа тәсілдерін де қарастыру керек, мысалы, олардың үйірлік топтары туралы деректерді алу үшін сандық камераларды пайдалану орынды. Жануарларды кейіннен автоматты түрде санау арқылы ақбөкендерді зерттеу үшін арнайы жабдықтары бар ұшқышсыз ұшу аппараттарын пайдалануды қарастырған жөн. Алдағы уақытта Ақмола облысында ақбөкендердің басқа да мекендеу орындарын ескеру қажет болады.

Орал және Бетпақдала популяцияларында бірқатар себептерге байланысты есептік санаудың жеткіліксіздігі ықтимал болды, оның ішінде аумақтардың толық қамтылмауына (сағаттардың болмауы, ұшуға тыйым салынған аймақтар) байланысты. Осыған орай, Охотзоопромның ұсынысы бойынша осы популяциялардағы әуе тіркеу көрсеткіштеріне жердегі мониторинг деректері қосылды, бұл әсіресе Орал популяциясы үшін жалпы көріністі айтарлықтай өзгертті. Айта кету керек, осыған қарамастан, Орал популяциясында бірқатар себептерге байланысты оның өсу қарқынының айтарлықтай төмендеуі туралы айтуға болады, оның ішінде қол жетімді жер сыйымдылығы үшін оның санына максималды немесе жақын деңгейге қол жеткізу ықтимал болуы мүмкін. Бұл 2025 жылдың жаз-күзінде популяцияның жай-күйін (жыныс және жас құрамы және т.б.) нақтылау үшін жерден жүргізілген мониторингі кезінде ерекше назар аударуды талап етеді.

2025 жылы әуе зерттеулерін жүргізу тәжірибесіне сүйене отырып, болашақтағы келесі есептік санақ пен мониторинг үшін алдын-ала ұсыныстар жасалынды, олардың кейбіреулері бұрын ұсынылды: әуе зерттеулері кластерлерге ақбөкендердің ойнақтау не көбею орындарына жиналғанға дейін аяқталуы керек. Кеш жүргізілген есептік санақ жануарларды санауды қиындатады және жүкті аналықтар үшін стрестік жағдайларды арттырады. Ең дұрысы, есептік санақ ақбөкендердің популяциясына байланысты 15–20 сәуірге дейін аяқталуы тиіс. Ақбөкендердің популяциясының тығыздығы жоғары жағдайларда санау және мониторинг сапасын жақсарту үшін жыл сайын әр популяциядағы кем дегенде бірнеше ондаған жыныстарды таңбалау таратқыштармен белгілеу қажет (ақбөкен төлін, құралайларды арзан таратқыштармен таңбалауға болады, бұл шығындарды күрт азайтады). Бұл қозғалыстардың уақыты мен жалпы сипатын бақылауға және есептік санақ аймақтарын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Жасанды интеллектті қолдана отырып, кескіндерде ақбөкендерді тану әдістерін әзірлеу, аэрофототүсірілімді, оның ішінде ұшқышсыз ұшу аппараттары арқылы санақ жүргізуге көшу бойынша жұмысты жалғастыру қажет.

REFERENCES

- A.B.Bekenov, D.A.Blank, Yu.A.Grachev and K.N.Plakhov (2001). Antelopes of Kazakhstan // Antelopes. Part 4: North Africa, the Middle East, and Asia. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 2001, Pp. 134–140.
- Bajbatshanov M.K., Konysova F, Bejsenbaeva M.T., Akilbekov S.O., Bekenova A. (2019). Almaty khajuanattar baryndary tyyakty ahdardy vol'erde birge esiru kezindegi minez-kylыk erekshelekteri. Izdenister, natizheler – Issledovaniya, rezul'taty. № 3 (83) 2019. Pp. 327–331. DOI: <https://doi.org/10.37884/3-83-2019>
- Meldebekov A.M., Bekenov A.B., Bekenova N.A. (2014). Problemy sokhraneniya i vosproizvodstva populyatsij sajkaka v Kazakhstane // Sovremennyye problemy okhotnich'ego khozyajstva Kazakhstana i sopredel'nykh stran. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, provodimoy v ramkakh ezhegodnykh chteniy pamyati chlen-korrespondenta AN Kaz.SSR Arkadiya Aleksandrovicha Sludskogo (Almaty 11-12 marta 2014 g.) Almaty, 2014, Pp. 5–8.
- Plakhov K.N. (2008). Sajgak na territorii Aralo-Kaspijskogo vodorazdela // Selevinia, 2008/2009, Pp. 193–198.
- Serikbayeva, A.T.; Akimzhanov, D.Sh.; Iskakova, Z.A.; Karagoishin, Z.; Akoyev, M.T. (2023). Saiga (Saiga tatarica) conservation strategy in Kazakhstan, Saiga (Saiga tatarica): uma estratégia de conservação no Cazaquistão. Brazilian Journal of Biology, 2023, Vol. 83, e275397 <https://doi.org/10.1590/1519-6984.275397>
- Serikbayeva A.T., Dauletaliyev T., Iskakova Zh.A., Slambayeva A.B., Bekbota B.N. (2023). Hunting resources of the south of Kazakhstan. Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. №2 (98). 2023. ISSN 2304-3334. <https://doi.org/10.37884/2-2023/34>
- Sludskij A.A. (1955). Sajgak v Kazakhstane // Trudy Instituta zoologii, 1955, T. 4, Alma-Ata, Izd-vo AN Kaz.SSR, Pp. 18–66.
- Tolgambaev M.S., Bajbatshanov M.K., Akimzhanov D., Kerteshev T.S., Kusainova ZH.A. (2025). // Қазақстандағы ақбөкен популяциясының ресурстарын басқару және рационалды пайдалану мәселелері. Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. №4 (108) 2025. ISSN 2304-3334. DOI <https://doi.org/10.37884/4-2025/42>
- Tolgambaev M.S., Bajbatshanov M.K., Bejsenbaeva M.T., ZHыbanyshova A.T., Әdbibek Ә.E., Slambaeva A.B. (2025). Elimizde meken etetin aqbekenniң san basyn retteu zhyymystary. «Orman resurstary zhasyl ehkonomikalық azhyramas beligi» atty KHalыkaralық ғыlymi-praktikalық konferentsiya. Almaty - 2025 zhyly. 298–306 better.
- Fadeev V.A. (1980). Vliyaniye dzhutov na chislennost' sajkakov // Kopytnye fauny SSSR. EHkologiya, morfologiya, ispol'zovanie i okhrana. Tezisy dokladov. M.: Izd-vo Nauka, 1980, Pp. 212–213
- Fadeev V.A., SHaad A. (1978). Promysel sajkaka v Kazakhstane // Okhota i okhotnich'e khozyajstvo. 10.1978, Pp. 10–12.
- KHamchukova A.M., Bajbatshanov M.K., Plakhov K.N. (2023). // Upravlenie resursami sajkaka v Kazakhstane obzor i perspektivy. Akademik Kaldybek Sәbdenpily Sәbdenovtyң 90 zhyldyryna arnalған «Fylymdary sabaktastyk - agrarlyk ғыlym men өndiristiң тыrақты damuynың negizi» atty zhas falymdar men studentterdiң khalыkaralық ғыlymi-tәzhiribelik konferentsiyasynың maқalalar zhinary 20-21 sәuir 2023 zhyly. 359 -364 bet.

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН МЕХАНИКАЛАНДЫРУ ЖӘНЕ
ЭЛЕКТРЛЕНДІРУ

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

RESEARCH, RESULTS – ІЗДЕНІСТЕР, НӘТИЖЕЛЕР – ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЗУЛЬТАТЫ

ISSN 2304-3334 (print)

Vol. 28. Is. 3. Number 111 (2026). Pp. 203–215

Journal homepage: <https://journal.kaznaru.edu.kz><https://doi.org/10.37884/3-2026/17>

IRSTI / FTAXP / МРНТИ / 68.85.35

УДК 621.5:631.024

**D. Abulkhairov¹ I. Sagynganova^{2*}, M. Userbaev¹, S. Mendalieva¹, B. Smailova¹**¹JSC S. Seifullin Kazakh Scientific Research Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan;²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: sagynganova_ik@enu.kz

JUSTIFICATION AND MODELING OF THE PROCESS OF PNEUMATIC MECHANICAL LOAD-
ING OF HAY INTO THE COLLECTION CHAMBER OF A HARVESTING AND TRANSPORT
UNIT**Abulkhairov Darmen**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Institute of Engineering and Food Technology of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Zhenis Ave, 62, Republic of Kazakhstan

E-mail: adk511@bk.ru.

Sagynganova Indira, PhD, senior lecturer of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008, Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev Str., 2

E-mail: sagynganova_ik@enu.kz.

Userbaev Muratbek, candidate of technical sciences, associate professor of the Institute of Engineering and Food Technology of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Zhenis Ave., 62, Republic of Kazakhstan

E-mail: usermur@mail.ru

Mendalieva Saule, candidate of technical sciences, senior lecturer of the Institute of Engineering and Food Technology of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, 100011, Astana, Zhenis Avenue, 62

E-mail: S.mendalieva@kazatu.edu.kz

Smailova Bakhytgul, senior lecturer of the Institute of Engineering and Food Technology, of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, 100011, Astana, Zhenis Avenue, 62

E-mail: bm_smailova@mail.ru.

Abstract. Introduction. Loose hay harvesting technologies involve a combination of operations, from windrow collection to unloading the formed haystack, which meets agricultural technology requirements and is beneficial in terms of reducing the loss of feed nutrients due to shorter harvesting times. *Materials and methods.* The harvesting and transport unit (HTU) is a single technological complex consisting of three units: a canvas pickup, a pneumatic-mechanical loader, and a collecting chamber. This paper presents a rationale for the pneumatic-mechanical transport of plant material by a blade-type rotary loader into the collecting chamber and the corresponding mathematical modeling of the technological process. *Results and discussion.* Based on the results of the study, the calculated and experimental values of airflow transport power and airflow velocity

at the loader's air duct inlet are presented. Graphical dependences of its influence on the hay portion flight range at different rotor speeds are obtained. Using the well-known Bernoulli equation, a mathematical dependence for the balance of total air pressure losses during plant material transport is obtained. The article presents the results of theoretical studies on determining air flow and pressure, as well as aerodynamic experimental studies of changes in airflow velocity. An analytical expression is obtained for the trajectory of a hay particle

at the loader's outlet depending on the airflow velocity V_1 . *Conclusions.* In the implemented pneumatic-mechanical method of hay transport by the loader of a harvesting and transport unit (HTU), it was found that the

airflow velocity at the loader inlet is $V_2 = 30 \text{ m/s}$, while the velocity at the loader outlet decreases to 24 m/s .

Keywords: harvesting and transport unit, pneumatic-mechanical, loader, collection chamber, speed, power, air flow, air pressure, rotor blade, Bernoulli equation

For citation: Abulkhair D., Sagynganova I., Userbaev M., Mendalieva S., Smailova B., Mitrofanova E. (2026). Justification and modeling of the technological process of pneumatic-mechanical loading of hay into the collection chamber of a harvesting and transport unit // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 203–215. <https://doi.org/10.37884/3-2026/17> [in Kaz.].

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

Д.К. Әбілқайыров¹, И.К. Сағынганова^{2}, М.Т.Усербаев¹, С.И. Мендалиева¹, Б.М. Смаилова¹*

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті КеАҚ, Астана, Қазақстан;

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.
E-mail: sagynganova_ik@enu.kz

ЖИНАУ ЖӘНЕ ТАСЫМАЛДАУ ТІРКЕСІНІҢ ЖИНАУ БӨЛІМШЕСІНЕ АУАМЕХАНИКАЛЫҚ АҒЫНЫМЕН ШӨП ТҮСУ ПРОЦЕСІН НЕГІЗДЕУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ

Әбілқайыров Дәрмен Қаратайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Инжиниринг және азық түлік технологиялары институтының профессоры, 100011, Қазақстан, Астана, Жеңіс даңғылы, 62

E-mail: adk511@bk.ru;

Сағынганова Индира Кеңесқызы, PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің аға оқытушысы, 100008, Қазақстан, Астана, Сәтпаев көшесі, 2
E-mail: sagynganova_ik@enu.kz;

Усербаев Мұратбек Тұрарбекұлы, техника ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Инжиниринг және азық түлік технологиялары институтының қаумдастырылған профессоры, 100011, Қазақстан, Астана, Жеңіс даңғылы, 62

E-mail: usermur@mail.ru;

Мендалиева Сәуле Ильинична, техника ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Инжиниринг және азық түлік технологиялары институтының аға оқытушысы, 100011, Қазақстан, Астана, Жеңіс даңғылы, 62

E-mail: S.mendalieva@kazatu.edu.kz;

Смаилова Бахытгуль Мерзоянқызы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Инжиниринг және азық түлік технологиялары институтының аға оқытушысы, 100011, Қазақстан, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62

E-mail: bm_smailova@mail.ru.

Аннотация *Kіріспе.* Шөп жинау технологиялары ауылшаруашылық технологияларының талаптарына сай келетін және жинау уақытының қысқаруына байланысты жемдік қоректік заттардың жоғалуын азайту тұрғысынан пайдалы болатын, шөпті жинаудан бастап, қалыптасқан шөп үйіндісін түсіруге дейінгі операциялардың үйлесімін қамтиды. Материалдар мен әдістер. Жинау және тасымалдау тіркесі (ЖТТ) үш қондырғыдан тұратын бірыңғай технологиялық кешен болып табылады: кенепті жинау құрылғысы, пневматикалық-механикалық тиегіш және жинау камерасы. Бұл мақалада өсімдік материалын пышақты типті айналмалы тиегішпен жинау камерасына пневматикалық-механикалық тасы-

малдаудың негіздемесі және технологиялық процестің сәйкес математикалық модельдеуі ұсынылған. Онда тиегіштің ротор қалақтарымен пайда болатын ауа ағынының энергиясы ауа өткізгішіндегі қозғалысқа кедергіні жеңу үшін қолданылатыны көрсетілген. Жинау камерасын өсімдік материалымен толтыру процесінің теориялық талдауы ұсынылған. Нәтижелер және талқылау. Мақалада жүк көтергіштің ауа өткізгішінің кірісіндегі ауа ағынын тасымалдау сыйымдылығы мен ауа ағынының жылдамдығының есептелген және эксперименттік мәндері ұсынылған. Бернулли теңдеуін қолдана отырып, өсімдік материалдарын тасымалдау кезіндегі жалпы ауа қысымының жоғалу балансы үшін математикалық байланыс алынған. Ауа ағыны мен қысымын анықтауға арналған теориялық зерттеулердің нәтижелері, сондай-ақ кіріс, шығыс және ауа өткізгіш еніндегі ауа ағыны жылдамдығының өзгеруінің аэро-динамикалық эксперименттік зерттеулері ұсынылған. V_1 ауа ағынының жылдамдығына байланысты жүк көтергіштен шығатын шөп бөлшегінің траекториясы үшін аналитикалық өрнек алынған. Қорытынды. Шөпті жинау және тасымалдау қондырғысының (ЖТҚ) тиегішімен тасымалдаудың пневматикалық-механикалық әдісін қолданған кезде, тиегіштің кірісіндегі ауа ағынының жылдамдығы $V_2 = 30$ м/с, ал тиегіштің шығысындағы жылдамдық 24 м/с дейін төмендейтіні анықталды.

Түйін сөздер: жинау және тасымалдау блогы, пневматикалық-механикалық тиегіш, жинау камерасы, жылдамдық, қуат, ауа ағыны, қалақ, ротор, Бернулли теңдеуі

Дәйексөз үшін: Сағынғанова И.К., Абулхайыров Д.К., Усербаев М.Т., Мендалиева С.И., Смаилова Б.М. (2026). Жинау және тасымалдау тіркесінің жинау бөлімшесіне ауамеханикалық ағынымен шөп түсу процесін негіздеу және модельдеу// Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Іс. 3. Number 111. Pp. 203–215. <https://doi.org/10.37884/3-2026/17> [In Kaz.]. **Мүдделер қақтығысы:** авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Д.К. Абулхайров¹, И.К. Сағынғанова^{2}, М.Т.Усербаев¹, С.И. Мендалиева¹, Б.М. Смаилова¹*

¹АО Казахский научно-исследовательский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан;

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.
E-mail: sagynganova_ik@enu.kz

ОБОСНОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПОГРУЗКИ СЕНА В СБОРОЧНУЮ КАМЕРУ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА

Абулхайров Дармен Каратаевич, доктор технических наук, профессор, профессор Института инжиниринга и пищевых технологий Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, 010011, Казахстан, Астана, пр. Женис, 62

E-mail: adk511@bk.ru;

Сағынғанова Индира Кенесовна, доктор PhD, старший преподаватель Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, 10008, Казахстан, Астана, ул. Сатпаева, 2

E-mail: sagynganova_ik@enu.kz;

Усербаев Муратбек Турарбекович, кандидат технических наук, ассоциированный профессор Института инжиниринга и пищевых технологий Казахского агротехнического исследовательского университета имени С.Сейфуллина, 010011, Казахстан, Астана, пр.Женис, 62

E-mail: usermur@mail.ru;

Мендалиева Сауле Ильинична, кандидат технических наук, старший преподаватель Института инжиниринга и пищевых технологий Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, 100011, Казахстан, Астана, проспект Жениса, 62

E-mail: S.mendalieva@kazatu.edu.kz;

Смаилова Бахытгуль Мерзояновна, старший преподаватель Института инжиниринга и пищевых технологий Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, 100011, Казахстан, Астана, проспект Жениса, 62

E-mail: bm_smailova@mail.ru.

Аннотация. Введение. Технологии заготовки рассыпного сена предусматривают совмещение операций, начиная с подбора валка до выгрузки сформированного стога, что отвечает агротехнологическим требованиям, являясь выгодным с точки зрения снижения потерь питательных

веществ корма в результате сокращения сроков его заготовки. Материалы и методы. Уборочно-транспортный агрегат (УТА) представляет собой единый технологический комплекс, состоящий из трех узлов: полотняного подборщика, пневмомеханического погрузчика и сборочной камеры. Изложено обоснование схемы пневмомеханической транспортировки растительного материала лопастным роторным погрузчиком в сборочную камеру и соответствующее математическое моделирование технологического процесса; показано, что энергия воздушного потока, создаваемого лопастями ротора погрузчика, используется для преодоления сопротивления движению в воздуховоде; представлен теоретический анализ процесса заполнения растительным материалом сборочной камеры. Результаты и обсуждение. Приведены результаты расчетных и экспериментальных значений мощности транспортирования воздушным потоком, а также скорости воздушного потока на входе в воздухопровод погрузчика. С помощью уравнения Бернулли получена математическая зависимость баланса полных потерь давления воздуха при транспортировке растительного материала, представлены результаты теоретических исследований по определению расхода и давления воздуха, а также аэродинамических экспериментальных исследований изменения скорости воздушного потока на входе, выходе и ширине воздуховода. Получено аналитическое выражение траектории движения частицы массы сена на выходе из погрузчика в зависимости от скорости воздушного потока V_1 . Выводы. В реализованном пневмомеханическом способе транспортировки сена погрузчиком уборочно-транспортного агрегата (УТА) установлено, что скорость воздушного потока на входе в погрузчик составляет $v_2 = 30$ м/с, при этом скорость на выходе из погрузчика снижается до 24 м/с.

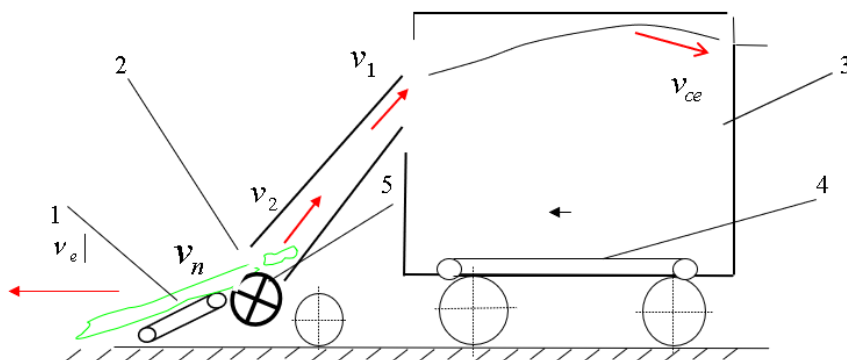
Ключевые слова: уборочно-транспортный агрегат, пневмомеханический погрузчик, сборочная камера, скорость, мощность, воздушный поток, лопасть, ротор, уравнение Бернулли

Для цитирования: Сагынганова И.К., Абулхаиров Д.К., Усербаев М.Т., Мендалиева С.И., Смаи-лова Б.М. (2026). Обоснование и моделирование технологического процесса пневмомеханической погрузки сена в сборочную камеру уборочно-транспортного агрегата // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 203–215. <https://doi.org/10.37884/3-2026/17> [In Kaz.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Кіріспе.

Бос шөп жинау технологиялары доңғалақты трактормен басқарылатын жинау және тасымалдау тіркесінің (ЖТТ) пайдалануды қамтиды (1-сурет). Тіркесі жел жинаудан бастап қалыптасқан үйіндіні түсіруге дейінгі операциялардың үйлесімін қамтамасыз етеді [Alshinbay et al., 2016]. Ауыл шаруашылығын біріктіру агротехникалық талаптарға сай келетіні және жинау уақытының қысқаруына байланысты жем қоректік заттарының жоғалуын азайту тұрғысынан пайдалы екені анық [Астафьев et al., 2005]. Сонымен қатар, жинау процесінің өнімділігін арттырудың резерві – агрегатты тоқтатпай, тығыздау механизмі арқылы жинау бөлмесінде үйінді қалыптастыру [Абулхаиров et al., 2022].



мұндағы: V_2 - тиегіштің ауа құбырының кірісіндегі ауа ағынының орташа жылдамдығы, м/с; V_1 --- тиегіштің ауа құбырының

шығысындағы ауа ағынының орташа жылдамдығы, м/с; $V_{\text{ш}}$ - жинау бөлмесінің артқы қабырғасындағы ауа ағынының орташа жылдамдығы, м/с; 4 - шөпті тығыздау механизмінің төменгі қабаттарының конвейері; 5 – ауамеханикалық тиегіштің желдеткішінің роторы.

Сур. 1. Жинау-тасымалдау тіркесінің жалпы сұлбасы
[Fig. 1. General Scheme of the Harvesting and Transportation System]

Жұмыс кезінде тіркесі десте арқалығы бойымен $a \cdot V$ тұрақты жылдамдықпен қозғалады. Жал

арқалықтарында солып қалған шөп жиналып V_i жылдамдықпен 2 тиегіштің қабылдау камерасына беріледі. 1-суретте көрсетілгендей, технологиялық процесс тіркесінің үш негізгі машинасының: 1- жинағыш, 2-тиегіш және 3-жинау бөлмесінің тізбекті жұмысын қамтиды.

Ауыл шаруашылығы техникасының ауа жүйелерінің негізгі элементі 1,5 кПа-дан аз қысым жасайтын желдеткіштер екені белгілі. Қалыптасқан тәжірибеде жинау машиналарында ауа ағынының жоғары жылдамдығында төмен қысым жасайтын қалақшалары аз (4...6) центрифугалық радиалды желдеткіштер қолданылады [Турбин, 1969].

Өсімдік материалын жинау бөлмесіне тиеу әдістерін зерттеуге шолу материалдың келесі жолдармен қозғалатынын көрсетеді: желдеткіш шығаратын ауа ағынының энергиясы; ротор қалақшылары беретін кинетикалық энергия, сондай-ақ ауа және механикалық күш компоненттерін қолданудың мультипликативті әсері [Заушицын, 1991].

Материалдар мен әдістер.

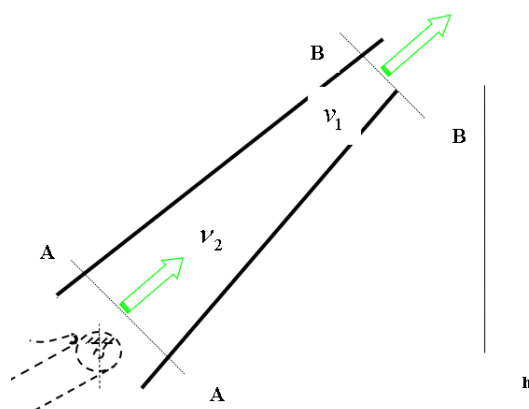
Өсімдік материалын жинау бөлмесіне тасымалдаудың ауамеханикалық әдісін негіздеу.

Қарастырылып отырған процесс алты қалақшасы және концентрлік корпусы бар центрифугалық желдеткішті (роторды) пайдаланады [Bobkov, 2009].

Шөпті ауамеханикалық түрде жинау камерасына жіберген кезде, ауа ағынының энергиясы, әдетте, шөпті жинау орнынан тиегіштің ауа өткізгішіне қабылдауға және бағыттауға жұмсалады. Ол

үшін 2-ші тиегіштің ауа құбырының кірісінде материал V_2 орташа жылдамдықпен қозғалуы керек,

ал шығысында – V_1 орташа жылдамдығына ие болуы керек (2-сурет) [Абулхаиров, 2025].



Ауа құбырының қабылданған белгілері мен жалпы өлшемдері: А-А қимасының ұзындығы, $a=1,97$ м, ені $b=0,4$ м., І-ауа құбырының ұзындығы, м, АВ.

Сур. 2. Тиегіштің ауа өткізгішіндегі шөпті беру және тасымалдау сұлбасы
[Fig. 2. Scheme of Grass Feeding and Transport in the Loader Air Conveyor]

Технологиялық процестің келесі ерекшелігін ескерейік. Тиегіштің ауа өткізгішіне түсетін шөптің құрамы (сабақтары, жапырақтары) біртектілікті және көлемдік тығыздығы бойынша сипатталады. Сондықтан, қуатты жел өткізгішті тек ауамен жылжыту жеткіліксіз болуы мүмкін, бұл ауа өткізгіштің «бітелуіне» әкеледі.

Бұл кемшілікті жою үшін, пикаптың материалды шығару аймағына белсенді жұмыс элементтерін - ротор қалақтарын - енгізу ұсынылады. Бұл қалақтар сабақтарға әсер етіп, бастапқы жылдамдығын қалпына келтіреді (шығару әдісі). Содан кейін материал ауа ағынымен алынады және тиегіштің ауа өткізгіші арқылы жинау контейнеріне бағытталады [Бобков et al., 2009].

Шөпті тиегішті пайдаланып тасымалдаудың ұсынылған ауамеханикалық-механикалық сұлбасы 3-суретте көрсетілген.

Біз СПТ-60 жинақтағышының практикалық тәжірибесінен алынған тасымалдау жүйесінің кейбір параметрлерін пайдаландық: қалақ радиусы r (0,34 м), ауа өткізгішінің А-А' қимасындағы ені ($b=0,4$ м., 2-сурет). Тиегіш корпусы мен ротордың салыстырмалы орналасуы айналмалы қалақтардың ауа өткізгіштің төменгі бөлігінің көлденең қимасын ішінара жабуына мүмкіндік береді, шөп пен сабан

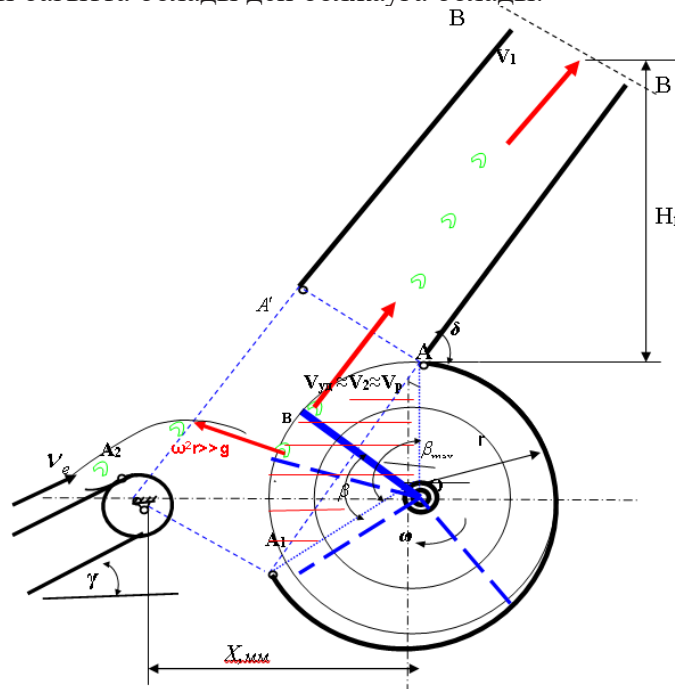
массасын тасымалдаудың пневматикалық-механикалық әдісін жүзеге асырады. Жабу дәрежесі сәйкес аудандардың қатынасымен анықталады:

$$S'_{\tilde{n}} = \frac{S_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{a}}}{S_{\tilde{n}}} = \frac{S_{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{e}} - S_{\tilde{o}}}{S_{\tilde{n}}} 100\%, \quad (1)$$

мұндағы: $S_{\text{сег}}$ – сегменттік ауданы A_1BA ; $S_{\text{сек}}$ – сектор ауданы OA_1BA ; S_m – үшбұрыштың ауданы OA_1A ; S_{Π} – тіктөртбұрыштың ауданы $A_1A_2A'A$.

Ротор қалақтары A_1BA сегментінде (A_1 нүктесінен A нүктесіне дейін) $\beta = 0$ бұрышынан β_{max} -қа дейін сағат тілімен айналады. Бұл жағдайда β бұрышының белгілі бір орташа мәні кезінде қалақтардың

әсерінен және ауа ағынының нәтижесі болып табылатын V_{δ} , м/с, жылдамдықты бағыттаушы пышаққа тік бұрышта тангенциалды бағытта болады деп болжауға болады.



мұндағы: X - қоректендіруді қабылдау жетегінің білігі мен желдеткіш роторының білігі арасындағы қашықтық, мм; H_1 - ауа құбырының биіктігі, мм; $A-A'$ қимасы - ауа құбырының кірісі, $B-B$ қимасы - ауа құбырының шығысы.

Сур. 3. Шөпті тасымалдаудың ауамеханикалық әдісінің сұлбасы
 [Fig. 3. Scheme of the Aeromechanical Method of Grass Transport]

Осыған байланысты, ұсынылған сұлбасында қоректік қабылдағыштың кіріс білігі мен ротордың бір сызықта олардың арасындағы X қашықтықта өзара орналасуы оңтайлы деп есептейміз (3-суреттен). Бұл болжам бұл жағдайда материалды ауа ағынының жоғары жылдамдығы аймағына енгізу қамтамасыз етілетіндігімен дәлелденеді, нәтижесінде массаны тасымалдау және тиегіштің жоғары өткізу қабілетіне қол жеткізу үшін ең жақсы жағдайлар жасалады.

Ауа құбырындағы массаның қозғалысы кезінде қарсылықты төмендету үшін оның көлбеу

бұрышы δ жылдамдығының бағытына V_{δ} параллель қабылданды, бұл параметрдің болжамды мәні 60° .

Өсімдік массасын жинау камерасына тасымалдау үшін ауа ағынының энергетикалық балансын талдау әдісі.

Жинау бөлмесіне шөпті ауапневматикалық беруді жүзеге асырған кезде ауа ағынының энергиясы, жалпы жағдайда, массаны қабылдаудан және тиегіштің ауа өткізгішіне дейін бағыттауды қамтамасыз етуге жұмсалады. Ол үшін жоғарыда айтылғандай, тиегіштің 2 кірісінде материалдың

қозғалысы V_2 орташа жылдамдықпен жасалуы керек, ал шығысында оның орташа жылдамдығы –

V_1 болады (2 сурет)

Ауа арнасының шығысындағы ауа ағынының v_1 , м/с орташа жылдамдығының дамуын және қол жеткізуін қамтамасыз ететін v_2 , м/с орташа жылдамдығының мәнін қарастырайық (В-В бөлімі).

Бұл жағдайда ауа құбырындағы P_b және материалдың P_m қозғалысына қарсылық еңсеріледі, материалдың және ауа ағынының P_v , қозғалысының алдын ала белгіленген жылдамдығы құрылады және сақталады, материал мен ауаның қоспасы P_h дейін көтеріледі деп есептейміз. биіктігі h . Осылайша, жұмыс кезінде ауа ағыны келесіге тең қысымды дамытуы керек:

$$P = P_a + P_i + P_v + P_h, \text{ Па.} \quad (2)$$

Таза ауаның қозғалысы кезінде қысымның жоғалуын анықтау үшін ұзындығы dl болатын ауа өткізгіштің элементар қимасы үшін Бернулли теңдеуінің жалпы түрін [Турбин, 1969] қолданамыз:

$$d + \frac{dP}{\gamma_a} + \frac{v dv}{g} + \frac{dA}{A} + R = 0 \quad (3)$$

мұндағы z – ауа қысымының потенциалдық энергиясын сипаттайтын геометриялық биіктік, м;
 P – ауа қысымы, Па;

γ_a – ауаның көлемдік массасы, кг/м³;

v – ағынның жылдамдығы, м/с;

u – ауаның ішкі энергиясы, ккал/кг;

A – жұмыс бірлігінің жылу эквиваленті, ккал/кг;

R – ауа өткізгішінің АВ қимасында ауаның қозғалысы кезіндегі үйкелістен болатын шығындарды сипаттайтын шығындар биіктігі, м

Ауа құбыры арқылы таза ауаны тасымалдау кезіндегі қысымның жоғалуын табамыз:

$$P_a = \lambda \frac{l}{D} \gamma_a \frac{v_a^2}{2}, \text{ Па} \quad (4)$$

мұндағы l, D – ауа өткізгішінің ұзындығы мен келтірілген диаметрі, м,

λ – қарсылық коэффициенті; v_a – ағынның орташа жылдамдығы, м/с.

Ауа қозғалысының кедергісін жеңу үшін қысымның жоғалуын зерттеуде P_b және материал P_m [Фатеев, 1967], оларды біріктіріп, қоспаның кедергісіне ауыстыру әдеттегідей.

$$P_{cm} = P_b + P_m = P_b + P_b \mu = P_b (1 + \mu), \text{ Па} \quad (5)$$

мұндағы μ – эксперименттік коэффициент;

μ – қоспаның салмақтық концентрациясы, ол материал массасының (G_m , кг/с) уақыт бірлігінде ауа құбыры арқылы өтетін ауа массасына (G_b , кг/с) қатынасы.

Материалдың үдеуіндегі қысымның жоғалуын анықтау үшін мына теңдеуді қолданамыз:

$$P_v = B \mu_a v_a^2, \text{ Па} \quad (6)$$

мұндағы B – тұрақты коэффициент (жеңіл материал үшін – 0,122).

Ауа мен материал қоспасын көтеру кезіндегі қарсылық:

$$P_h = \mu h' \gamma_a g, \text{ Па} \quad (7)$$

мұнда h' – қоспаның биіктігі, м.

(2) терминдердің мәндерін ауыстыра отырып, ауа құбыры арқылы ауа қоспасын және шөп-сабан массасын тасымалдау үшін жеткілікті А-А бөліміндегі ауа қысымымен өңделуі тиіс жалпы қысымды табамыз:

$$P_{\text{нөі}} = \lambda \frac{l}{D} \gamma_a \frac{v_a^2}{2} (1 + \alpha) + B \mu_a v_a^2 + g \mu h' \gamma_a, \text{ Па.} \quad (8)$$

Ауа-өсімдік қоспасының ағын параметрлерін анықтау жинау бөлмесінің толтырылуын қамтамасыз ету. Әдетте, шөп жинау-тасымалдау тіркесінің жұмыс циклі соңғы өніммен - шөп үйіндісінің пайда бо-луымен аяқталады – жинақтың пайда болуы және оның сапасы, эрине, бұл тіркесінің есептік көрсет-кіші болып табылады. Сондықтан, біз жинау бөлмесінің толтыру процесін оның өлшемдерімен бірге зерттеу, осы процесті біріктіріп жоғары сапалы орындауды қамтамасыз ететін тиісті тиеу қондырғысының жоғары өнімділікпен және өнімнің аз шығын сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді деген болжамнан шығамыз. Жинау тіркесінің жұмысы кезінде шөпті тиегішпен алдыңғы қабырғаның жоғарғы бөлігінде орна-ласқан қабылдау терезесі арқылы жинау бөлмесіне береді. Ауа-өсімдік қоспасының ағындық параме-трлері бос орындар пайда болмай, бөлмесін шөпен жоғары сапалы толтыруды қамтамасыз етуі керек. Бұл жағдайда ағынды артқы қақпақтың жоғарғы бөлігіне бағыттау қажет. Бұл жағдайда пішен-сабан массасының тығыздалуы бөлмесінің бүкіл көлемінде біркелкі жүреді. Ағын жылдамдығының жоға-рылауымен жинау бөлмесінің бүкіл ұзындығы бойынша толтыру дәрежесі артады.

Осылайша, біз ауа-өсімдік материалының ағынының оңтайлы мәнін, оның бағытын және жинау бөлмесіндегі ұшу ауқымын анықтаймыз [Офат, 1965].

Ауа ағынының жылдамдығына және көлденең бұрышқа байланысты тиегіштің шығуындағы шөптің шөп-сабан массасының қозғалу траекториясын теориялық тұрғыдан анықтау белгілі бір қиын-дықтарды тудырады, өйткені шөп біртекті денеден тұрмайды және жинақы түрде біркелкі қабатпен қозғалмайды.

Бастапқы v_1 орташа жылдамдықпен горизонтқа α бұрышпен қозғалатын элементар бөлшекке (4 - сурет) ауырлық күші mg әсер етеді деп есептесек, қозғалысқа қарсылық күші R , Па. Соңғысы бөлшектің қозғалыс траекториясына жанама бағытта бағытталған. [Тарг, 1986]. Бөлмесіндегі бөлшектің қозғалыс теңдеулерін табайық.

Бөлшектердің қозғалысының бастапқы шарттары:

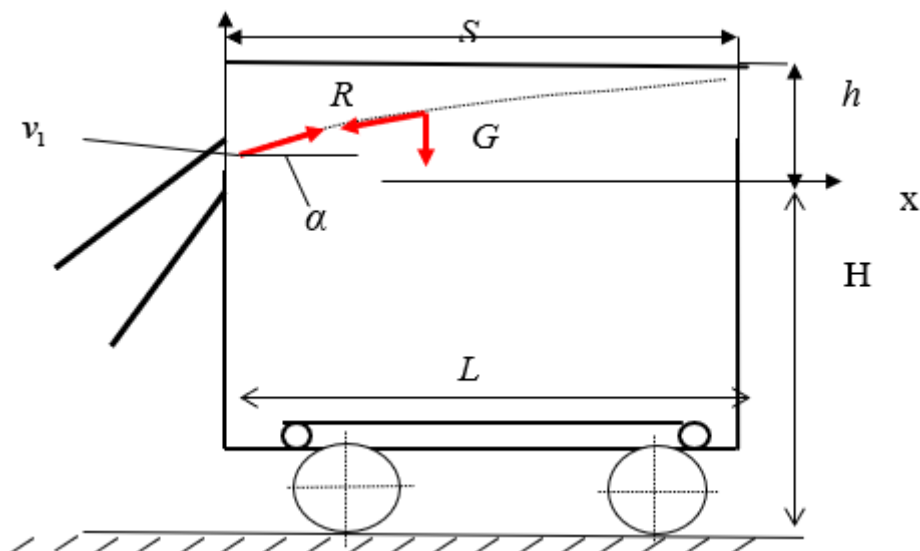
$$t = 0, x = 0, y = 0; \quad \dot{x} = v_1 \cos \alpha, \quad \dot{y} = v_1 \sin \alpha, \quad (9)$$

мұндағы $\dot{x}$ – бөлшектің жылдамдығына қатысты δ өсі бойынша, орын ауыстырудың туындысы, м/с;

$\dot{y}$ – бөлшектің жылдамдығына қатысты θ өсі бойынша, орын ауыстырудың туындысы, м/с;
XOY жүйесіндегі күштердің әсер ету бағытын ескере отырып, шөп бөлшегі үдеуінің өстердегі проекциясының дифференциалды теңдеуін аламыз:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -k\dot{x}, \\ \ddot{y} &= g - k\dot{y}, \end{aligned} \quad (10)$$

мұндағы k – тұрақты коэффициент, с^{-1} .



Сур. 4. Жинау бөлмесінің сыйымдылығын шөп-сабан массасымен толтыру сұлбасы
[Fig. 4. Scheme of Filling the Collection Chamber Capacity with Grass–Straw Mass.]

(10) теңдеуіндегі бірінші және екінші дифференциалдық теңдеулерді және оларға сәйкес математикалық түрлендірулерді тізбектей интегралдағаннан кейін, тікбұрышты координаттар жүйесіндегі дененің қажетті қозғалыс теңдеуін табамыз.

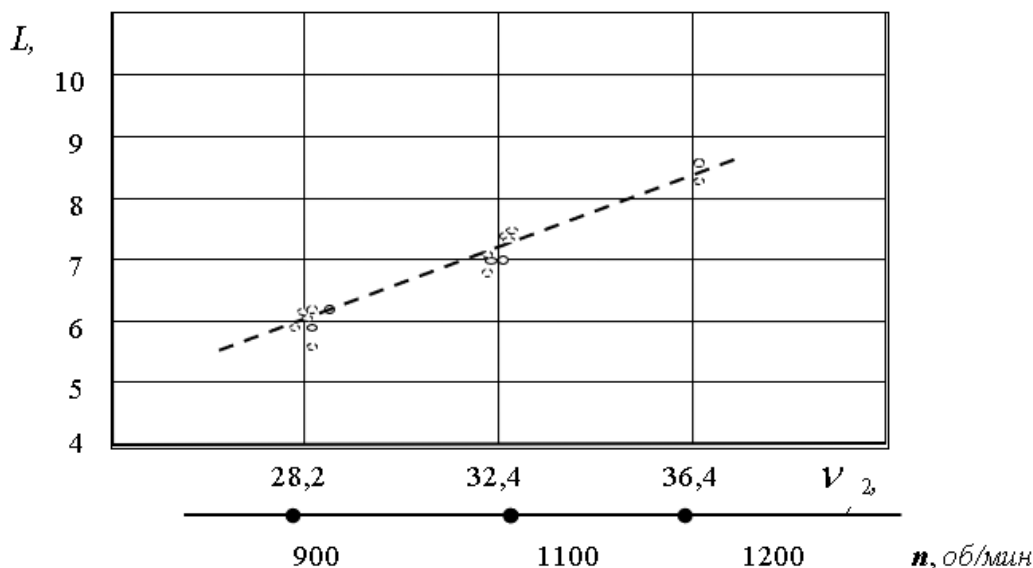
$$y = -\frac{g + k_1 \sin \alpha}{k \cos \alpha} \cdot x + \frac{g}{k^2} \ln\left(1 - \frac{k}{v_1 \cos \alpha} \cdot x\right), \text{ м.} \quad (11)$$

Нәтижелер талқылау.

Эксперименттік зерттеулер барысында жинауыштың оңтайлы жағдайын, жинауыштың және ротордың осьтерінің өзара орналасуын белгілей отырып, ротордың белгілі бір айналым жиілігі кезінде ауа құбырына кіреберістегі ауа ағыны жылдамдығының параметрлері анықталды [Абулхаиров, 2024]. Жоғарыда айтылғандай, тасымалдаудың пневматикалық-механикалық әдісі ротор V, м/с бастапқы қалақтарының (3-сурет) шөп-сабан материалын алып, соққыға түсіруін, оны r жылдамдықпен ауа өткізгішіне күштеп бағыттауын қамтиды. Содан кейін материал ауа ағыны арқылы және лақтыру арқылы бір мезгілде тасымалданады. Бұл тіпті қалың шөп-сабан материалдарының қозғалысындағы кез келген кідірістерді болдырмайды.

5-суретте ротор қалақтарының әсерінен және ауа қысымының әсерінен алынған ауа құбырына кіретін жердегі ауа ағынының V_2 орташа жылдамдықтарының мәндері көрсетілген. Сонымен, ротордың жылдамдығы 900 айн/мин және $V_2 = 28 \text{ м/с}$ кезінде шөп бөлшектерінің ұшу қашықтығы 5,8 м., және $n = 1100$ айн/мин $V_2 = 32 \text{ м/с}$ кезінде ұшу қашықтығы шегінде болады 7,5 м.

Осылайша, шөп өсімдігінің массасын (сары тәтті беде) тиегішпен желдеткіш роторының жылдамдығы 1100 айн/мин тиімді тасымалдау үшін ауа өткізгіштің кірісіндегі ауа ағынының орташа жылдамдығының мәні 30 м/с шегінде болады.



Сур. 5. Ауа құбырының кіре берісіндегі орташа жылдамдықтың V_2 ротордың әртүрлі жылдамдықтарында шөп бөліктерінің ұшу қашықтығына әсері

[Fig.5. Effect of the Average Air Velocity at the Inlet of the Air Duct on the Flight Distance of Grass Particles at Different Rotor Speeds]

V_2 орташа жылдамдықпен ауа қысымын құруға және лақтыруды қамтамасыз ететін сабақтың материалына пышақтардың соғуына қуат жұмсалады:

$$N = \frac{P}{\eta} \cdot v_2 \cdot F, \text{ кВт} \quad (12)$$

мұндағы P – жүк тиегіш арнасы арқылы тасымалдауға ауа-сабақты қоспаның жиынтық кедергісі, Па; η – арнаның пайдалы әсер коэффициенті; F – тиегіштің ауа құбырының бастапқы учаскесінің көлденең қимасының ауданы (В-В).

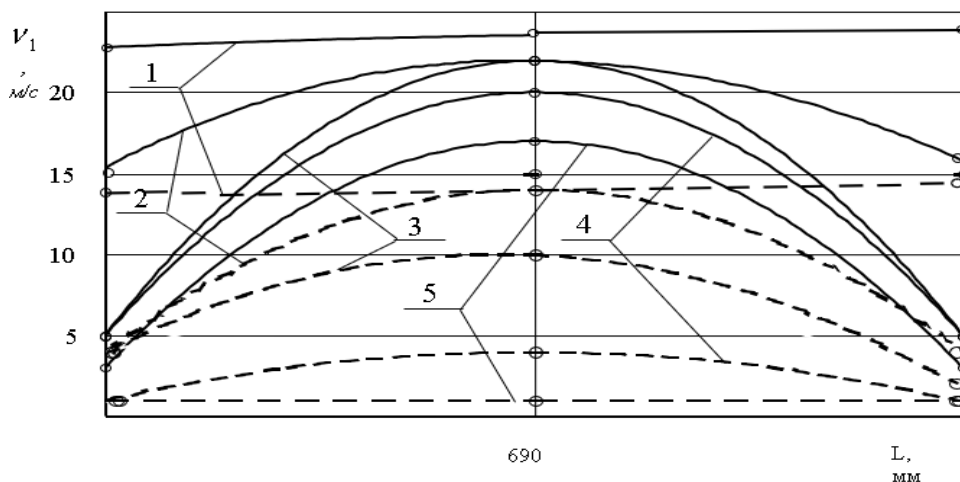
Тәжірибелерде сабақтың материалын жылжытуға $5,8 \text{ кг/с}$ ең көп беріліс кезінде жүк тиегіш $N = 17 \text{ кВт}$ қуат жұмсады.

Аэродинамикалық зерттеулердің нәтижесінде мыналар анықталды: ротордың жылдамдығы 720 және 1100 мин-1 (6-сурет) кезінде ауа құбырының ені бойынша ауа ағынының жылдамдығының тиегішке дейінгі қашықтыққа тәуелділігі [Абулхаиров, 2024].

Шығару бөлімінен алыстаған кезде жылдамдықтардың таралуы арнаның ортасында шыңы бар парабола түрінде болады. Ротор жылдамдығының ұлғаюымен ауа жылдамдығы каналдың ортасында да, шеттерінде де, парабола түрінде де артады.

Ауа тасымалының орташа жылдамдығы 30 м/с болғанда (ауа өткізгішінің кірісінде) жүргізілген эксперименттік зерттеулерде өткізгіштің шығысының енін ортасындағы жылдамдықтың 24 м/с дейін төмендеуі байқалды (6-сурет). Бұл өсімдік материалын пневматикалық тасымалдауға қатысты біздің теориялық болжамдарымыздың дұрыстығын көрсетеді. Алынған эксперименттік деректер бізге теориялық болжамдарды және жүк көтергіштің ауа өткізгіші арқылы ауаны тасымалдау есептеулерінде белгілі Бернулли теңдеуін қолданудың орындылығын бағалауға мүмкіндік берді. Тек таза ауаны тасымалдау кезіндегі қысым шығындары (4) формуласы

бойынша есептелді: мұндағы l – ауа құбырының ұзындығы (2-сурет, $l = AB$), м; D – В-В қимасындағы арнаның бастапқы қимасының кішірейтілген диаметрі λ – ауа өткізгіштерінің кедергі коэффициенті (0,5); γ – ауаның көлемдік массасы ($1,2 \text{ кг/м}^3$).



Ауа құбырының шығысынан қашықтығы: 1–0 м; 2–0,5 м; 3–1,0 м; 4–1,5 м; 5–2,0 м

Сурет 6. Ауа құбырының шығысындағы қиманың ені бойынша орташа ауа жылдамдығының v_1 өзгеруі (ротордың айналу жиілігінде: – 1100; –720 айн/мин)

Көлденең қимасында тікбұрышты пішінді арнаның берілген диаметрі формула бойынша есептеледі:

$$D = \frac{2\hat{a}}{\hat{a} + \hat{a}} = 0,66 \text{ м.} \quad (13)$$

Эксперименттерде v_2 орташа жылдамдықты 25,2; 28,8; 32,4; 36,0 м/с өзгертуге болады. Ауа

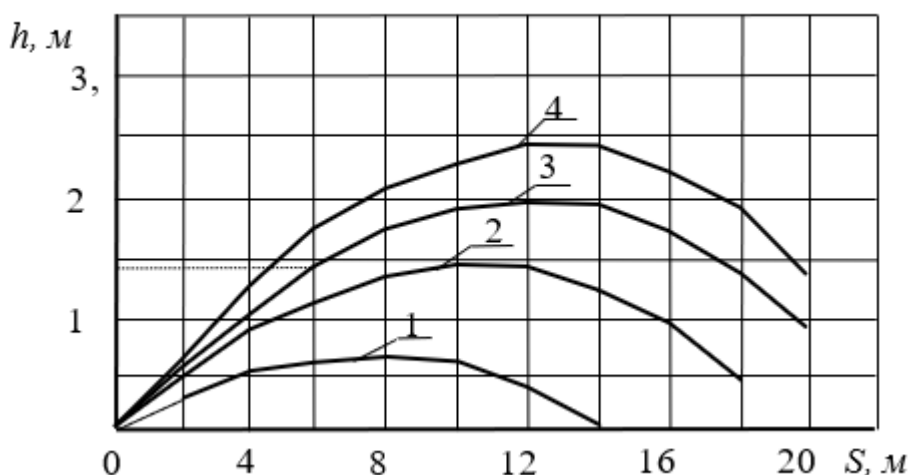
қысымының $v_2 = 36$ м/с жоғалуы кезінде (4) формула бойынша $P = 1006$ Па.

(11) теңдеуіне сәйкес орындалған алдын ала индикативті есептеулерде көлік өлшемдерінің шекті нормалары МЕМСТ 12.2.019-86 сәйкес қабылданған. Сонымен, биіктік мәндері үшін – $H+h = 4$ м, ұзындығы – $L = 6$ м, $k = 0,34$, 20 м/с ауа ағынының жылдамдығына сәйкес келеді. Бұл жағдайда (13) теңдеуде 4-суретке сәйкес:

$$y \geq h \quad x \leq L \quad (14)$$

7-суретте көрсетілген пішен бөлшегі қозғалысының алынған есептелген траекторияларын талдау 1-қисық $\alpha = 10$ градуста жинау бөлмесін жүктеудің нақты процесіне ең жақын екенін көрсетеді.

Демек, берілген шөп-сабаның орташа жылдамдығы $v_1 = 25$ м/с, жинау бөлмесінің ұзындығының рационалды мәні 4-6 метрдің шегінде болады.



1) $\alpha = 10$ град; 2) $\alpha = 15$ град; 3) $\alpha = 17$ град; 4) $\alpha = 20$ град.
 Сур.7. Өртүрлі α бұрышындағы шөп бөлшектерінің есептік ұшу жолдары.
 [Fig. 7. Calculated Trajectories of Grass Particles at Different α Angles.]

Қорытынды.

Шөпті жинау және тасымалдау қондырғысының (ЖТҚ) жинау камерасына тасымалдаудың пневматикалық-механикалық әдісін валидациялау және әзірлеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, ауа ағынын тасымалдау қуатының, сондай-ақ тиегіштің ауа өткізгішінің кірісіндегі ауа ағынының жылдамдығының есептелген және эксперименттік мәндері ұсынылған. Өртүрлі ротор жылдамдықтарында шөп түйіршікінің ұшу қашықтығына әсерінің графикалық тәуелділіктері алынған.

Бернулли теңдеуін қолдана отырып, өсімдік материалын тасымалдау кезіндегі ауа қысымының жалпы жоғалуының балансы үшін аналитикалық байланыс алынды. Ауа ағыны мен қысымын анықтау бойынша теориялық зерттеулердің, сондай-ақ кіріс, шығыс және канал еніндегі ауа ағыны жылдамдығының өзгерістерінің аэродинамикалық эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері де ұсынылған.

V_1 ауа ағынының жылдамдығына байланысты тиегіштен шығатын шөп бөлшегінің траекториясының математикалық өрнегі алынды.

Осылайша, шөпті жинау-тасымалдау тіркесінің (ЖТТ) тиегішімен тасымалдаудың ауамеханикалық әдісімен жүзеге асырылған кезде, ротордың айналу жылдамдығы 1100 айн/мин

болғанда, тиегіштің кірісіндегі ауа ағынының орташа жылдамдығы $V_2 = 30$ м/с, ал тиегіштің шығысындағы орташа жылдамдық 24 м/с дейін төмендейтіні анықталды. Бұл жағдайда V_2 орташа жылдамдықпен ауа қысымын жасау және соққымен лақтыруды қамтамасыз ететін қалақшалары шөп-сабан материалына әсері 17–19 кВт қуатты қажет етеді.

Ауа өткізгішінің шығысындағы V_1 ауа ағынының жылдамдығы мен материал бөлшектерінің ұшу траекториясының параметрлері мен жинау бөлмесінің өлшемдері арасында байланыс

орнатылды: $V_1 = 25$ м/с жылдамдық келесі жалпы өлшемдерге сәйкес келеді: ұзындығы - 5,0 м, биіктігі - 4,0 м дейін.

Алынған деректер ЖТТ-ның жинау бөлмесін толтыруға жеткілікті қажетті ауа ағынының жылдамдығы үшін теориялық есептеулердің сенімділігін растайды.

ӘДЕБИЕТТЕР

Алшынбай М.Р., Астафьев В.Л., Абулхаиров Д.К. (2016). Солтүстік Қазақстанда шөп жинауды кешенді механикаландыру бойынша ұсыныстар. 2016. <https://infourok.ru/rekomendacii-po-kompleksnoy-mehanizacii-uborki-trav-na-seno-v-severnom-kazhastane-nauchnaya-statya-2427313.html>.

Астафьев В.Л., Абулхаиров Д.К., Дерепаскин А.И., Бобков С.И., Полищук Ю.В., Бинюков Ю.В., Нема С.Г., Найманов И.Д., Тарасенко В.И. (2005). Солтүстік Қазақстанда шөп өсіруді, ірі жемді жинауды және сактауды кешенді механикаландыру: Ұсыныстар. — Қостанай, 2005. 48 б.

Абулхаиров Д.К., Сағынғанова И.К., Усербаев М.Т. (2022). Жинау камерасындағы шөпті тығыздау механизмінің технологиялық блок-схемасын және параметрлерін негіздеу // Қарағанды техникалық университетінің «Еңбектері университеті. Университет еңбектері», 2022, № 1.

Абулхаиров Д., Сағынғанова И., Өсербаев М., Мендалиева С.И., Бобеев А.Б. (2024). Тазалау және тасымалдау қондырғысының пневматикалық тиегішімен жасалған ауа ағынының оңтайлы параметрлерін анықтау // Қарағанды техникалық университетінің «Еңбектері университеті. Университет еңбектері», 2024, № 3. 60–79 беттер. <http://tu.kstu.kz/publication/publication/download/872>

Абулхаиров Д., Өсербаев М., Сағынғанова И. (2025). Зерттеулер, нәтижелер және агрегат технологиясы. ҚазҰАИ материалдары. — А. 2025, № 2. DOI <https://doi.org/10.37884/2-2025/54>

Бобков С.И., Абулхаиров Д.К., Полищук Ю.В., Дерепаскин А.И. (2009). № 20921 өнертабысына арналған Қазақстан Республикасының инновациялық патенті. Шөп пен сабан материалдарына арналған пневматикалық тасымалдау құрылғысы., Бюллетень № 3, 2009 ж.

Заушицын В.Е. (1991). Шөп пен сабан өнімдерін пневматикалық тасымалдауды зерттеу // «Ауыл шаруашылығы техникасын жобалау және өндіру» еңбектер жинағы / НТОМР Ростов ОП, 1991, 328-бет.

Фатеев М.Н. (1967). Ұсақталған өсімдік массасын айналмалы жұмыс органдарымен тасымалдау процесінің теориялық және эксперименттік зерттеулері // ВИСХОМ материалдары, 55-шығарылым. — М.:, 1967, 656 б.

Бобков С.И. (2009). Борпылдақ шөп жинауға арналған машинаның пневмомеханикалық схемасын әзірлеу — ірі жемді механикаландырылған жинаудың перспективалы бағыты // С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің ғылым хабаршысы. — Астана, 2009. 67–70 беттер.

Романов Г.И. (1979). Ауа ортасының қозғалатын сабаққа әсері. — Өлеуметтік ауыл шаруашылығын механикаландыру және электрлендіру. 1979 ж., № 1.

Офат Е.А. (1965). Сабан материалдарын тасымалдаудың технологиялық процесін зерттеу // Ауыл шаруашылығы механикасының

жинағы. — М., 1965 ж. – IV том. 236 б.

Тарг С.М. (1986). Теориялық механиканың қысқаша курсы, 1986 ж. <https://mechanicsrgsu.narod.ru/Targ.pdf>

REFERENCES

Alshynbay M.R., Astafyev V.L., Abulkhairov D.K. (2016). Recommendations for the integrated mechanization of grass harvesting for hay in Northern Kazakhstan. 2016. <https://infourok.ru/rekomendacii-po-kompleksnoy-mehanizacii-uborki-trav-na-seno-v-severnom-kazahstane-nauchnaya-statya-2427313.html>.

Astafyev V.L., Abulkhairov D.K., Derepaskin A.I., Bobkov S.I., Polischuk Yu.V., Binyukov Yu.V., Nema S.G., Naimanov I.D., Tarasenko V.I. (2005). Integrated mechanization of grass cultivation, harvesting and storage of roughage in Northern Kazakhstan: Recommendations. — Kstanay, 2005. 48 p.

Abulkhairov D.K., Sagynganova I.K., Userbaev M.T. (2022). Justification of the process flow chart and parameters of the hay compaction mechanism in the collecting chamber // «University of Enbekteri. Proceedings of the University» of Karaganda Technical University, 2022, No. 1.

Zaushitsyn V.E. (1991). Study of pneumatic transport of hay and straw products // Collection of works «Design and production of agricultural machinery / NTOMP Rostov OP, 1991. P. 328.

Fateev M.N. (1967). Theoretical and experimental studies of the process of transporting chopped plant mass by rotary-type working bodies // Proceedings of VISKHOM, issue 55. — M., 1967. 656 p.

Bobkov S.I. (2009). Development of a pneumomechanical scheme for a machine for harvesting loose hay – a promising direction for mechanized harvesting of roughage // Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin. — Astana, 2009. Pp. 67–70.

Abulkhairov D., Userbaev M., Sagynganova I. (2025). Research, results, and aggregate technology. Proceedings of the KazNAIU. — A. 2025. No. 2. DOI <https://doi.org/10.37884/2-2025/54>

Bobkov S.I., Abulkhairov D.K., Polischuk Yu.V., Derepaskin A.I. (2009). Innovative Patent of the Republic of Kazakhstan for Invention No. 20921 // Pneumatic Transport Device for Hay and Straw Materials., Bulletin No. 3, 2009.

Romanov G.I. (1979). Influence of the Air Environment on a Moving Stalk. — Mechanization and Electrification of Social Agriculture. 1979. No. 1.

Ofat E.A. (1965). Study of the Technological Process of Transporting Straw Materials // Collection of Agricultural Mechanics. — M., 1965. Vol. IV. P. 236

Targ S.M. (1986). Brief Course in Theoretical Mechanics, 1986. <https://mechanicsrgsu.narod.ru/Targ.pdf>

D. Abulkhairov, I. Sagynganova, M. Userbaev, S.I. Mendalieva, A.B. Bobeev (2024). Determining Optimal Parameters of the Air Flow Created by a Pneumatic Loader of a Cleaning and Transport Unit. «University of Yebekteri // Proceedings of the University» of Karaganda Technical University, 2024. No. 3. Pp. 60–79. <http://tu.kstu.kz/publication/publication/download/872>

Абулхаиров Дармен Каратаевич – концептуализация, разработка методологии исследования.

Сагынганова Индира Кенесовна – проведение экспериментов и лабораторных исследований, написание и редактирование текста

Усербаев Муратбек Турарбекович – анализ данных, интерпретация результатов.

Мендалиева Сауле Ильинична – редактирование текста, анализ данных.

Смаилова Бахытгуль Мерзояновна – проведение экспериментов, первичная обработка результатов исследований.

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

А.С. Рзалиев¹, С. Бекбосынов^{1*}, В.П. Голобородко¹, И. Мизанбеков²

¹Ауыл шаруашылығы машина жасау ғылыми-өндірістік орталығы, Алматы, Қазақстан;

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: serik.bek@bk.ru

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК АЙМАҒЫНЫҢ ТОПЫРАҚТЫҚ-КЛИМАТТЫҚ ЖАҒДАЙЫНА БЕЙІМДЕЛГЕН ҚАНТ ҚЫЗЫЛШАСЫНЫҢ ТҰҚЫМЫН ДӘЛ СЕПКІШ

Рзалиев Асқар Сапашевич, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Агроинженерия ҒӨО» ЖШС Басқарма төрағасының ғылыми жұмыс жөніндегі орынбасары, Қазақстан, Алматы, Райымбек даңғылы, 312

E-mail: rzaliyev24@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3316-3108>;

Бекбосынов Серик, техника ғылымдарының кандидаты, «Агроинженерия ҒӨО» ЖШС жетекші ғылыми қызметкері, Қазақстан, Алматы, Райымбек даңғылы, 312

E-mail: serik.bek@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5918-3628>;

Голобородко Валерия Павловна, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Агроинженерия ҒӨО» ЖШС жетекші ғылыми қызметкері, Қазақстан, Алматы, Райымбек даңғылы, 312

E-mail: goloborodko-50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9325-3573>;

Мизанбеков Ильяс Төлеубекович, техника және технология магистрі, Қазақ ұлттық зерттеу аграрлық университеті, Алматы, Қазақстан, Абай даңғылы, 8

E-mail: ilyas.mizanbekov.kaznau@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0370-7776>.

Аннотация. Қазақстанның оңтүстік-шығысында наурыз айының аяғында температура күрт көтеріліп, топырақтың беткі қабатының кебуіне алып келеді. Нәтижесінде үстіңгі қабаттағы топырақ кесектері қатайып, қаттылығы 3 немесе одан да көп МПа жетеді, мұндай жағдай пассивті жұмыс бөлшекті құралдарды пайланғанда топырақты қопсытуды қиындатады. Соның салдарынан көктемгі өңдеуден кейінгі топырақтың құрамы тұқым себу агроталаптарына сәйкес келмейді. Тұқым себер алдындағы топырақты өңдеу мен тұқым себу арасындағы кідіріс топырақтың құрғап кетуіне ықпал етеді және өсімдіктердің пайда болуын кешіктіреді. Сонымен қатар, кейбір тұқымдар топырақ бетінде қалып қояды. Ұсынылған сепкіш құрал 45, 50, 60 см қатараралықтарда тұқым себеді, тұқым себу аймағында топырақты жолақты фрезерлі өңдеуді жүргізеді, нығыздалған тұқым төсемін жасаумен қоса тұқымдық қарықты дайындайды, сондай-ақ қабық тұзілуіне қарсы жабылтқыш арқылы қыртысты қалыптастырады. Теориялық зерттеулер топырақ өңдеу механикасының классикалық әдістеріне сәйкес жүргізілді, жобалық құжаттаманы әзірлеу және тәжірибелік үлгіні сынау бекітілген МЕМСТ және стандарттарға сәйкес жүргізілді. СТВ-2,4 сепкіш-фрезердің фрезерлік жұмыс бөлшегінің параметрлері негізделді. Тәжірибелік үлгі жасалды және оның алдын ала сынақтары жүргізілді, оған сәйкес орташа квадраттық ауытқу шамасы ($\pm\sigma$) 1,8 см және вариациялық еселігі (γ) 15,9 болғанда топырақтың нақты өңдеу тереңдігі белгіленген 11,3 см мәніне сәйкес болды. Ұсақ түйіршікті (20 мм-ден аз) топырақ фракциясының мөлшері 84,5 % құрады. Тұқым себу тереңдігі $\pm\sigma = 0,63$ см және $\gamma = 19$ % болған-да тұрақты орташа есеппен 3,3 см болды. Қатардағы себілген тұқымның белгіленген саны 5 дана жағдайында 1 бойлық метрдегі нақты тұқым саны 4,7 дананы құрады.

Түйін сөздер: сепкіш құрал, себу, тұқым себер алдындағы фрезерлі топырақ өңдеу, параметрді негіздеу, тәжірибелік үлгі, алдын ала сынау

Дәйексөз үшін: Рзалиев А.С., Бекбосынов С., Голобородко В.П., Мизанбеков И. (2026). Қазақстанның оңтүстік аймағының топырақтық-климаттық жағдайына бейімделген қант қызылшасының тұқымын дәл сепкіш // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Рр. 216–230. <https://doi.org/10.37884/3-2026/18> [In Russ.].

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

А.С. Рзалиев¹, С. Бекбосынов^{1*}, В.П. Голобородко¹, И. Мизанбеков²

¹Научно-производственный центр сельскохозяйственного машиностроения, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный исследовательский аграрный университет, Алматы, Казахстан.
E-mail: serik.bek@bk.ru

СЕЯЛКА ТОЧНОГО ВЫСЕВА ДЛЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ, АДАПТИРОВАННАЯ К ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ЮЖНОЙ ЗОНЫ КАЗАХСТАНА

Рзалиев Аскар Сапашевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель председателя Правления по научной работе, ТОО «НПЦ агроинженерии», Казахстан, Алматы, проспект Райымбека, 312
E-mail: rzaliyev24@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3316-3108>;

Бекбосынов Серик, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ТОО «НПЦ агроинженерии», Казахстан, Алматы, проспект Райымбека, 312
E-mail: serik.bek@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5918-3628>;

Голобородко Валерия Павловна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ТОО «НПЦ агроинженерии», Казахстан, Алматы, проспект Райымбека, 312
E-mail: goloborodko-50@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9325-3573>;

Мизанбеков Ильяс Толеубекович, магистр техники и технологии, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Казахстан, Алматы, проспект Абая, 8
E-mail: ilyas.mizanbekov.kaznau@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0370-7776>.

Аннотация. В условиях юго-востока Казахстана в конце марта происходит резкое повышение температуры воздуха, что приводит к иссушению поверхностного слоя почвы. В результате комки почвы в верхнем слое затвердевают, их твердость достигает 3 и более МПа и в дальнейшем они плохо поддаются крошению при обработке орудиями с пассивными рабочими органами. Вследствие этого фракционный состав почвы после весенних обработок не соответствует агропотребованиям для посева семян. Разрыв во времени между предпосевной подготовкой почвы и посевом способствует иссушению почвы и задержке появления всходов. Кроме того, часть семян остается на поверхности почвы. Предлагаемая сеялка высевает семена с шириной междурядий в интервале 45,50,60 см, проводит полосовую фрезерную обработку почвы в зоне посева, подготовку семенной борозды, включающую создание уплотненного семенного ложа. Теоретические исследования проводились в соответствии с классическими методами земледельческой механики, разработка конструкторской документации и испытания экспериментального образца проводились в соответствии с утвержденными ГОСТ-ом и стандартами. Обоснованы параметры фрезерных рабочих органов сеялки-фрезы СТВ-2,4. Изготовлен экспериментальный образец и проведены его предварительные испытания, согласно которым фактическая глубина фрезерной обработки почвы соответствовала установочной 11,3 см при среднем квадратическом отклонении ($\pm\sigma$) 1,8 см и коэффициенте вариации (γ) 15,9 %. Содержание мелкокомковатой фракции почвы размером менее 20 мм составляло 84,5 %. Глубина заделки семян была стабильной в среднем 3,3 см при $\pm\sigma = 0,63$ см и $\gamma = 19\%$. Количество высеянных семян в рядке на 1 погонный метр составляло в среднем 4,7 шт. при установочном 5 шт.

Ключевые слова: сеялка, посев, предпосевная фрезерная подготовка, обоснование параметров, экспериментальный образец, предварительные испытания

Для цитирования: Рзалиев А.С., Бекбосынов С., Голобородко В.П., Мизанбеков И. (2026). Сеялка точного высева для сахарной свеклы, адаптированная к почвенно-климатическим условиям южной зоны Казахстана // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 216–230. <https://doi.org/10.37884/3-2026/18> [In Russ.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Статья подготовлена в рамках выполнения мероприятия «Разработать сеялку точного высева для сахарной свеклы, адаптированную к почвенно-климатическим условиям Южной зоны Казахстана в рамках научно-технической программы МСХ «Разработать систему машин, нормативы их потребности и расхода топлива для выполнения механизированных полевых работ по регионам Казахстана и сеялку для посева семян сахарной свеклы». Авторы благодарят всех сотрудников ТОО «НПЦАИ», принявших участие в выполнении НИОКР, проведении полевых испытаний.

Введение.

Главная задача точного посева – рациональное размещение семян по площади поля, обеспечивающее наиболее благоприятные условия для произрастания растений. При этом к посеву, как к технологическому процессу, предъявляются следующие основные требования: формирование уплотненного ложа для размещения семян, высев заданного их количества на единицу площади поля для формирования необходимой густоты стояния; равномерное размещение их по площади поля и с заданным шагом при рядковом посеве; заделка их на необходимую, предусмотренную агротребованиями, одинаковую глубину. При соблюдении указанных выше факторов создаются оптимальные условия для развития растений: необходимая густота стояния растений на площади поля, то есть создаются условия, при которых факторы жизнедеятельности агрофитоценоза (такие как уровень питания, освещенность, водный и воздушный режимы и другие) доступны всем растениям. От качества и своевременности посева в значительной степени зависит их будущий урожай и его основные качественные показатели. При возделывании сахарной свеклы это – урожай корнеплодов и сахаристость. Пунктирный посев семян сельскохозяйственных культур производится пропашными сеялками различных конструкций. Большое их разнообразие, используемое в сельскохозяйственном производстве, делает затруднительным выбор сеялки для проведения качественного посева в различных производственных условиях.

На качество работы пропашных сеялок оказывает влияние агрофизическое состояние почвы и качество ее предпосевной подготовки.

Климат южной зоны Казахстана резко-континентальный, с высокими летними температурами и недостаточным количеством осадков.

Главной особенностью режима выпадения осадков является приуроченность их максимума к весеннему периоду, а минимума – к летнему. Зимние осадки составляют 15–25 % от годовой суммы, на летние осадки приходится немногим более 20 % и столько же – на долю осенних. Осень всегда сухая и теплая. В августе, сентябре и октябре в среднем месячная норма осадков составляет около 10–30 мм.

Основными типами почв являются светло-каштановые. Пояс предгорных светло-каштановых пахотных почв Заилийского Алатау характеризуется преобладанием склонов крутизной 3–8°, значительный удельный вес занимают склоны крутизной 1–3° (40,4 %). Средневзвешенная крутизна склонов составляет 3,9°. Основные особенности – слабая оструктуренность и водоудерживающая способность. В весенний период при влажности 70–80 % ППВ они имеют равновесную плотность в слое 0–10 см 0,6–0,9 г/см³, т.е. оптимальную для развития растений. Поскольку почвы находятся в зоне резко-континентального климата с высокими дневными температурами, в весенне-летний период их иссушение происходит за короткий период. Выпадение осадков не отличается равномерностью, их количество подвержено резкому колебанию по годам. Весенне-полевые работы зачастую проводятся при пониженной или повышенной влажности, что приводит к распылению почвы.

При проведении обработок почв под посевы происходит изменение их агрофизического состояния под воздействием машинно-тракторных агрегатов и климатических факторов. Весенние обработки почвы выполняются с 20 марта по 25 апреля, что связано с повторяющимися весенними заморозками. После 10–15 марта происходит резкое повышение температуры воздуха, что приводит к иссушению поверхностного слоя почвы. В результате комки почвы в верхнем слое затвердевают, их твердость достигает 3 и более МПа и в дальнейшем они плохо поддаются крошению. Проведение весенней отвальной вспашки при подсыхании верхних слоев почвы приводит к глыбообразованию. В тяжелосуглинистых почвах из-за высокого содержания глины процесс комкообразования и глыбообразования выражен сильнее, что делает почвообработку более энергоемкой. В результате страдает качество предпосевной обработки почвы, напрямую связанной с качеством посева.

Из-за слабо выраженной структуры светло-каштановые почвы подвержены заплыванию при выпадении осадков и поливах. На почвах со значительным содержанием глинистой фракции – тяжелосуглинистые склоны к образованию почвенной корки после выпадения осадков и поливов. Почвенная корка может достигать 2 см, что препятствует прорастанию и развитию всходов и требует проведения дополнительных обработок почв направленных на разрушение корки. Иссушение среднесуглинистых и тяжелосуглинистых почв и развитие корневой системы растений приводит к

резкому увеличению плотности и твердости почвы. Если перед началом весенних полевых работ плотность не превышает $1,0 \text{ г/см}^3$, в слое почвы 0–20 см, то в августе-сентябре она увеличивается до $1,38 \text{ г/см}^3$. Таким образом, при возделывании с.х. культур на среднесуглинистых и тяжелосуглинистых почвах весенняя обработка почвы должна быть направлена на создание соответствующего агротребованиям (не менее 80% фракций размером менее 20 мм) крошения почвы и предотвращение глыбообразования. Такое качество предпосевной обработки создаст удовлетворительные условия для проведения посевных работ.

Сахар является стратегически важным продуктом. Производство его на душу населения и стоимость определяет благосостояние нации.

Доля отечественного производства сахара на внутреннем рынке в 1 квартале 2026 г. снизилась с 28,2 % до 7,1 %. Основную часть рынка теперь формирует импорт, который составляет около 93 % потребностей страны. При этом доля сахара, произведенная из свеклы местных аграриев, в общем объеме потребления составляет всего 10 %. Министерство сельского хозяйства Казахстана разработало Комплексный план по развитию сахарной отрасли. Согласно Комплексному плану, в Казахстане увеличат посевные площади сахарной свёклы до 38 тысяч гектаров, а производство сахара из отечественного сырья – до 250 тысяч тонн. Помимо повышения площадей занятых под посевами сахарной свеклы, необходимо создавать условия для увеличения ее урожайности. В настоящее время урожайность сахарной свеклы в среднем составляет 341 ц/га, тогда как ее биологический потенциал и благоприятные климатические условия орошаемой зоны Казахстана позволяют получать 500–550 ц/га. Одним из условий, позволяющих повысить урожайность пропашных культур является обеспечение рынка Казахстана адаптированной к почвенно-климатическим условиям республики отечественной почвообрабатывающей и посевной техникой.

Из всех пропашных культур возделываемых в орошаемой зоне Юга Казахстана сахарная свекла наиболее требовательна к агротехнике ее возделывания, особенно к качеству технологических операций по предпосевной обработке почвы и посеву, на что указывают следующие исследователи [Zavrzhnov, 2022: 17–21; Ismail, 2009 b: 1–12; Noureldin, 2019 c: 1–19]. Сложность обеспечения качественной предпосевной обработки почвы под эту культуру заключается в том, что в условиях резко-континентального климата южной зоны Казахстана в весенний период наблюдается значительный перепад температур, приводящий к иссушению и комкообразованию верхнего слоя почвы. В результате требуется несколько проходов почвообрабатывающих агрегатов с пассивными рабочими органами для обеспечения необходимой степени крошения почвы [Moitzi, 2007 1–27; Rzaliyev 2023b: 1–9]. В связи с этим зачастую семена высеваются в недостаточно подготовленную почву, в которой трудно соблюсти стабильную глубину посева и полную их заделку мелкокомковатой фракцией почвы. Это приводит к изреженности всходов и потере урожая.

Альтернативой проведения многократных технологических операций машинами с пассивными рабочими органами является фрезерная обработка почвы на что указывает ряд авторов [Маценский, 2008: 225–229; Рзалиев, 2013b.: 105–109; Цыпук, 1996с: 104–106; Алдюшин, 2019d: 15–19]. Фрезерные машины за один проход агрегата обеспечивают необходимое крошение почвы и ее выравнивание, а совмещение операций по фрезерной подготовке почвы и посеву позволит сократить сроки весенних полевых работ и избежать иссушения почвы.

В связи с этим в технологии возделывания сахарной свеклы, и других культур имеющих семена со слабой энергией прорастания большое значение приобретают две взаимосвязанные операции: предпосевная подготовка почвы и посев [Добринов, 2020: 1–10; Петровец, 2022 b: 67–73; Рзалиев, 2025с: 3–5].

Для обеспечения оптимальных условий для развития растений сахарной свеклы необходимо обеспечить своевременность проведения предпосевной обработки и посева по агротехническим срокам, обеспечить необходимое по агротребованиям крошение почвы и качество посева предусматривающее высев заданной нормы семян, минимальное травмирование посевного материала и точность размещения семян в [Несмеян, 2018 45–52; Скороходов, 2012b: 204–210; Зубрилина, 2019с: 65–70].

В связи с этим целью исследований было разработать сеялку, адаптированную к работе в почвенно-климатических условиях Юга Казахстана, обеспечивающую качественную предпосевную фрезерную обработку почвы с необходимым по агротребованиям крошением, качественный посев и заделку семян, сокращение обрабатываемой посевной площади на 65 %.

Методы и материалы.

При проведении научных исследований по выбору и обоснованию параметров разрабатываемых машин использованы классические положения теоретической механики, теории механизмов и машин, механики сплошной среды, земледельческой механики.

Эксперимент по определению влияния влажности почвы и способов ее обработки на качество крошения почвы проводился на светло-каштановой почве Карасайского района Алматинской области. Почва среднесуглинистая, бесструктурная, водоудерживающая способность слабая. Повторность при проведении эксперимента 4-кратная, площадь опытных делянок 50 м². При определении агрофизических и воднофизических показателей почвы пятикратная. Экспериментальный образец сеялки изготовлен на опытно-экспериментальном производстве ТОО «НПЦ агроинженерии».

Предварительные испытания экспериментального образца сеялки проводились на полях стационара в ТОО «КазНИИЗиР» согласно следующей нормативной документации:

- ГОСТ 20915–2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний». Межгосударственный стандарт;

- ГОСТ 33687–2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний». Межгосударственный стандарт;

- ГОСТ 31345–2017 «Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные Методы испытаний» Межгосударственный стандарт.

Предварительные испытания проводились на площади 1 га. Нарботка агрегата составила 200 ч. Для определения агрофизических и воднофизических свойств образцы отбирались в пятикратной повторности. Показатели определялись согласно приведенным выше ГОСТам.

После прохода СТВ-2,4 определялись: глубина фрезерования почвы и глубина заделки семян методом замеров в 25-кратных повторностях;

Полученные данные обрабатывались методом статистического анализа, при этом определялось среднее квадратичное отклонение $\pm\sigma$, и коэффициент вариации γ .

Фракционный состав почвы определялся методом ситового анализа при котором навеска почвы пропускалась через колонки сит в 10 кратной повторности с отверстиями 100 мм, 50 мм, 20 мм и 1 мм для определения процентного содержания фракций почвы в общей навеске.

Результаты и обсуждение.

Перед разработкой сеялки точного высева для сахарной свеклы СТВ-2,4 были проведены патентно-информационные исследования для определения аналогов в ближнем и дальнем зарубежье

Проведены патентно-информационные исследования по технологиям и техническим средствам, совмещающим предпосевную обработку почвы и посев с.х. культур. Ряд авторов занимались исследованиями основных параметров рабочих органов и эффективности работы почвообрабатывающе-посевных машин, Известны патенты на их рабочие органы и конструктивные особенности.

Из просмотренных патентов Республики Казахстан, стран СНГ и дальнего зарубежья, для дальнейшего анализа отобраны патенты Российской Федерации. Установлено, что на рынках сельскохозяйственных машин стран СНГ и дальнего зарубежья в настоящее время большим спросом пользуются фрезерные орудия для предпосевной обработки почвы и сеялки точного высева для посева пропашных культур. Анализ патентной и научно-технической литературы по разрабатываемым машинам показывает, что в целом создание сеялки комбинированной для предпосевной фрезерной обработки почвы и посева семян сахарной свеклы является актуальным направлением.

Интерес представляет патент RU 101 315U1, МПК А01В. Комбинированная машина для обработки почвы и посева. Машина содержит: рыхлитель с сошником для удобрений, фрезбарабан, кожух с выравнивающим щитком, сошник для высева семян, бункер с высевными аппаратами и каток. Отличается от аналогов тем, что стойка сошника для посева семян выполнена изогнутой и расположена между рабочими органами фрезы, а стрельчатая лапа сошника установлена под фрезбарабаном и производит рыхление на глубину заделки семян.

Машина имеет следующие недостатки: ножи на фрезбарабане с горизонтальной осью вращения при работе на каменистых почвах часто ломаются и деформируются, сошник осуществляет посев под фрезбарабан в поток почвы, в результате трудно стабилизировать глубину заделки семян. Конструкция высевного аппарата машины не обеспечивает качественный посев сахарной свеклы и других пропашных культур.

Известен патент RU2 497 334c1. МПК A01B 49/06; A01B 43/00 Комбинированный агрегат для предпосевной обработки тяжелых и средних почв и посева с внесением удобрений Агрегат состоит из камнеуборочной машины, снабженной рамой. На продолжение рамы камнеуборочной машины крепятся четыре дисковых батареи и один ряд рыхлительных лап, выравнивающий брус, кольчато-шпоровый каток и зернотравяная сеялка с туковысевающим аппаратом. Такое конструктивное выполнение позволит за один проход агрегата повысить степень очистки пахотного слоя тяжелых и средних почв от камней, а также повысить качество предпосевной обработки почвы и посева с внесением удобрений

Недостатки: сложность конструкции, агрегатирование с энергоемкими тракторами к.т. 3–5, использование данного типа высевающего аппарата не обеспечивает качественный посев семян сахарной свеклы и других пропашных культур.

Известны машины для совмещения предпосевной обработки почвы и посева. Такое совмещение позволяет высевать семена во влажную, хорошо взрыхленную почву за счет ликвидации разрыва между обработкой и посевом.

Комбинированный агрегат КА-3,6 включает в себя навесной фрезерный культиватор КФГ-3,6, сцепное устройство, зернотуковую сеялку СЗ-3,6, прикатывающее приспособление, составленное из клинчатых катков, следоуказатель и сигнализацию.

Во время работы ножи фрезерного барабана рыхлят почву, фартук выравнивает поверхность поля, сеялка высевает семена и удобрения в 24 рядка и заделывает их в почву на заданную глубину, катки уплотняют почву в рядках.

Конструкция агрегата позволяет отдельно использовать фрезерный культиватор и сеялку. Ширина захвата агрегата 3,6, рабочая скорость 7-9 км/ч, производительность 2,38 га/ч. Его навешивают на тракторы Т-150 и Т-150К.

Ближайшим аналогом разрабатываемой машины является фрезерный культиватор-сеялка КФС-3,6, который за один проход фрезерует почву, выравнивает поверхность поля, высевает семена и прикатывает почву. Машина состоит из двух частей: почвообрабатывающей и посевной. Почвообрабатывающая часть собрана из единиц фрезерного культиватора КФГ-3,6, снабжена специальной рамой с автонавеской и опирается на два ходовых колеса.

Посевная часть составлена из рабочих органов и сборочных единиц рисовой сеялки СРН-3,6, смонтированных на отдельной раме. Посевную часть крепят к раме почвообрабатывающей части, предусматривая возможность ее демонтажа. Поэтому фрезерный культиватор может работать без посевной части и выполнять сплошное фрезерование почвы на глубину до 10 см.

При движении машины ножи фрезерных барабанов рыхлят почву на глубину 4-5 см, фартуки фрезы и лыжи сошников выравнивают поверхность, высевающие аппараты подают семена в воронки и сошники, идущие вслед за лыжами, заделывают семена в почву на глубину 5-40 мм. Движущиеся вслед за сошниками гладкие цилиндрические катки выравнивают поверхность и уплотняют почву.

Недостатки машины: машина не адаптирована к работе на заплывающих почвах южной зоны Казахстана, так как не обеспечивает стабильную глубину заделки семян и не образует противокорковый валик, необходимый на данных почвах.

Известны следующие комбинированные машины: Агрегат АППА-6-02 и (ОАО «Бобруйсксельмаш» Беларусь), почвообрабатывающе-посевной с дисковыми рыхлительными органами предназначен для предпосевной обработки почвы и рядового сева зерновых, среднесемянных зернобобовых, крестоцветных и других (аналогичных им по размерам, норме высева и глубине заделки семян) культур с одновременным внесением в рядки припосевной дозы гранулированных минеральных (фосфорных) удобрений. Выполняет за один проход предпосевное рыхление, мелкоструктурное крошение, выравнивание и подуплотнение семенного ложа, высева семян и удобрений и заделку их почвой на требуемую глубину.

Недостатки: не адаптирован к посеву семян свеклы и к работе на тяжелых, заплывающих почвах юга Казахстана.

Комбинированный посевной комплекс «AGRATOR COMBIDISK» (Россия) – комбинированный агрегат для сева с одновременной предпосевной культивацией и интенсивным прикатыванием лент.

За один проход выполняет: измельчение комков передним катком обрабатывающего модуля; предпосевную обработку почвы на глубину посева стрельчатыми лапами на пружинных стойках

и формирование плотного ровного семенного ложа; обратное прикатывание и разравнивание обработанного слоя почвы задним катком обрабатывающего модуля; посев семян и удобрений дисковыми или анкерными сошниками; интенсивное прикатывание лент посева при помощи усиленных опорно-прикатывающих катков;

разравнивание и мульчирование засеянного поля шлейф-бороной.

Недостатки: не адаптирован к посеву семян сахарной свеклы и к работе на тяжелых, заплывающих почвах юга Казахстана

Результаты патентно-информационных исследований показывают, что предлагаемые технические решения, представленные в патентах и имеющиеся на рынках комбинированные почвообрабатывающе-посевные машины, не адаптированы к работе на твердых, заплывающих почвах и к точному посеву семян сахарной свеклы

С учетом результатов патентно-информационных исследований разработана конструкция СТВ-2,4.

Проведены теоретические исследования по обоснованию параметров фрезерного рабочего органа.

В соответствии с принятой технологической схемой разрабатываемой посевной машины ее рабочие органы имеют обратное направление движения.

Для обеспечения оптимального условия обработки почвы нами приняты следующие параметры профиля обрабатываемого слоя почвы: глубина $h = 0,12$ м и ширина: $b = 0,25$ м (рисунок 1).

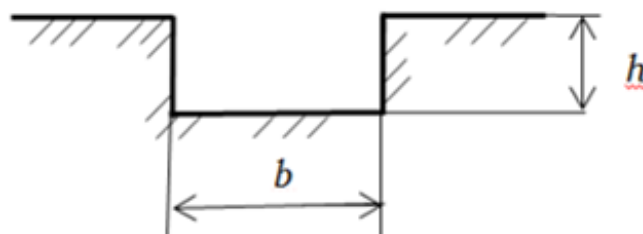
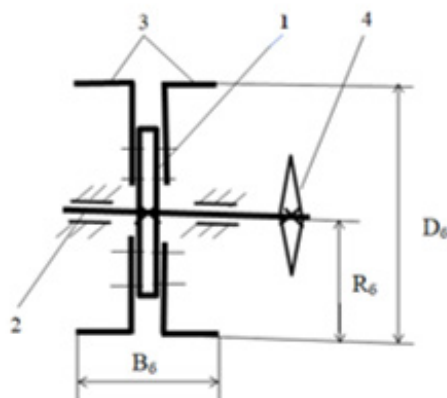


Рис. 1. Профиль обрабатываемого слоя почвы фрезерным рабочим органом
[Fig.1. Soil Profile Produced by the Rotary Tillage Working Unit.]

Каждая полоса при фрезеровании почвы обрабатывается отдельной секцией фрезерного рабочего органа, основным элементом которого является фрезерный барабан (Рисунок 2).



[
Fig. 2. Schematic Diagram of the Rotary Tillage Working Unit]

Требуемое качество обработок почвы и параметры профиля обрабатываемого слоя почвы обеспечивается конструктивно-технологическими параметрами фрезерного барабана.

Фрезерный рабочий орган состоит из барабана 1 и жестко закрепленных на него фрезерных ножей 3. Привод фрезерного барабана осуществляется валом 2 со звездочкой 4 через цепную передачу от ВОМ трактора. Основными параметрами фрезерного барабана являются: диаметр фрезерного барабана, D_6 и ширина захвата B_6 .

При проведении теоретических исследований и расчетов диаметра и ширины захвата фрезерного барабана, ширины и высоты ножа, количества ножей, подачи на нож, кинематических параметров

фрезы и частоты вращения фрезерного барабана применялись рекомендации [Канарев, 1983].

Определение параметров фрезерного барабана производилось в следующей последовательности:

Определение параметров ножа. Для обеспечения качества выполнения операции, исходя из анализа конструкций ножей, нами был выбран Г-образный нож (рисунок 3).

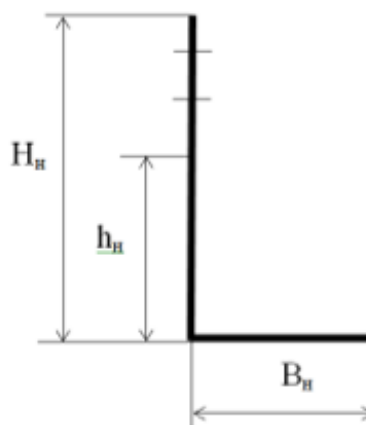


Рис. 3. Схема Г-образного ножа
[Fig.3. Schematic Diagram of the L-Shaped Blade]

Были выбраны следующие параметры ножа: ширина ножа B_n и высота ножа H_n .

Значение ширины ножа B_n должно обеспечить обработку полосы почвы по ширине равную ширине захвата фрезерного барабана B_6 . Таким образом, в соответствии с принятой схемой (рисунок 1) имеем:

$$B_n = B_6 / 2, \text{ м} \quad (1)$$

При этом значение ширины захвата барабана B_6 в соответствии с требованиями обеспечения сплошной обработки полосы должно быть равным ширине ее профильного сечения: $B_6 = b$ или $B_6 = 0,25 \text{ м}$. Тогда: $B_n = 0,25/2 = 0,125 \text{ м}$.

При определении высоты ножа исходили из условий обеспечения равномерной обработки полосы глубиной $h = 0,12 \text{ м}$.

Значение высоты ножа в соответствии с его схемой (рисунок 3) было принято:

$$H_n = h_n + \Delta, \text{ м} \quad (2)$$

где значение длины рабочей части ножа h_n принято равным глубине обработки, т.е. $h_n = 0,12 \text{ м}$. Значение технологического зазора принято $\Delta = 0,03 \text{ м}$. Тогда высота ножа равна: $H_n = 0,12 + 0,03 = 0,15 \text{ м}$.

Диаметр фрезерного рабочего органа следует выбирать с таким расчетом, чтобы при максимальной глубине обработки обеспечивалось достаточное расстояние от поверхности почвы до вала вращения барабана.

$$D_6 = (2,5 \dots 2,8) h_n, \text{ м} \quad (3)$$

Подставляя глубину обработки $h_n = 0,12 \text{ м}$, в формулу 3 получим $D_6 = (2,5 \dots 2,8) 0,12 = 0,3 \dots 0,37 \text{ м}$. Поскольку нами был принят: $D_6 = 0,34 \text{ м}$. Тогда радиус фрезерного барабана: $R_6 = D_6/2 = 0,34/2 = 0,17 \text{ м}$.

Нами было принято количество ножей с одной стороны барабана $z = 4$.

Значение подачи на нож было определено из условий обеспечения качества обработки для суглинистых почв и составило $S = 6 \dots 10 \text{ см}$. Нами было принято $S = 6 \text{ см}$.

Кинематический параметр фрезы был определен из условий обеспечения принятого значения подачи на нож:

$$\lambda = 2 \pi R_6 / S z \quad (4)$$

Известны значения следующих параметров: радиус фрезерного барабана: $R_6 = 0,17$ м, подача на нож $S = 6$ см = $0,06$ м, количество ножей $z = 4$. Тогда: $\lambda = 2 \times 3,14 \times 0,17 / 0,06 \times 4 = 4,4$. Принимаем: $\lambda = 4,4$.

Определение частоты вращения фрезерного барабана. При рабочей скорости посевного агрегата равной $V_p = 7,0$ км/час или $V_p = 1,94$ м/с линейная скорость конечной точки фрезерного барабана при кинематическом параметре $\lambda = 4,4$ равна: $V_p = \lambda V_p = 4,4 \times 1,94 = 8,54$ м/с.

На основе угловой скорости вращения фрезерного барабана, его линейная скорость:

$$V_p = \omega_6 R_6, \frac{м}{с} \quad (5)$$

где: ω_6 – угловая скорость вращения фрезерного барабана, рад/с

Отсюда:

$$\omega_6 = V_p / R_6$$

При известных величинах $V_p = 8,54$ м/с, радиусе барабана $R_6 = 0,17$ м имеем:

$$\omega_6 = 8,54 / 0,17 = 50,24 \text{ рад/с или } n_6 = 30 \omega_6 / \pi = 30 \times 50,24 / 3,14 = 480 \text{ об/мин.}$$

Результатом теоретических исследований являются научно-обоснованные диаметр и ширина захвата фрезерного барабана, ширина и высота ножа, количество ножей, подача на нож, кинематический параметр фрезы и частота вращения фрезерного барабана.

Полученные результаты легли в основу разработки фрезерных рабочих органов сеялки для точного посева сахарной свеклы.

Для обоснования необходимости фрезерной обработки почвы нами был поставлен эксперимент, в котором в весенний период, с апреля по май 2024 г., проводилась обработка почвы при различной ее влажности культиватором с пассивными рабочими органами КПС-4 и фрезерование фрезой СФО-2,8. Качественные показатели обработки почвы определялись после двухкратной обработки культиватором КПС-4 и однократной обработки фрезой. В таблице 1 представлено содержание мелкокомковатой (агрономически ценной) фракции почвы размером менее 20мм и крупнокомковатой – мешающей качественной заделке семян, размером более 50мм. По агротребованиям перед посевом сахарной свеклы содержание агрономически ценной фракции почвы должно быть не менее 80 %

Таблица 1 – Влияние влажности почвы и способов ее обработки на качество крошения почвы.

№ п/п	В л а ж н о с т ь почвы, %	Фрезерование почвы		Обработка пассивными рабочими органами	
		Размеры фракций почвы, мм			
		Менее 20мм	Более 50мм	Менее 20мм	Более 50мм
		Содержание фракций почвы, %			
1	18,7	67,0	-	64,5	5,2
2	18,2	75,0	-	77,3	4,0
3	18,0	80,3	-	77,4	3,7
4	17,5	80,0	-	75,5	3,5
5	17,0	80,0	-	74,6	3,0
6	16,3	81,0	-	70,4	3,5
7	16,1	80,5	-	68,4	3,7
8	15,5	80,2	-	55,7	3,8
9	14,0	80,7	-	54,6	3,9
10	13,5	80	-	54,0	4,5
11	13,0	76,2	-	50,0	6,0

Согласно полученным данным, близкое к оптимальным значениям крошение почвы обеспечивалось после двух проходов культиватора КПС-4 при ее влажности в интервале от 18,0 до 16,5 %, и после однократного прохода фрезы в интервале влажности от 18 до 13,5 %.

По средним многолетним данным посев сахарной свеклы и других теплолюбивых культур проводится в основном во второй половине апреля, и при сильном иссушении почвы в этот период ее влажность в слое залегания семян см часто опускается до 13–14 %. В связи с этим предпосевная фрезерная обработка почвы актуальна, так как создает необходимое для заделки и прорастания семян крошения почвы в более широком интервале влажности и в случае применения комбинированной почвообрабатывающей машины (сеялки-фрезы) отсутствует разрыв во времени между операциями, приводящий к дальнейшему иссушению почвы.

Сеялка-фреза представляет собой конструкцию, навешенную посредством автосцепки на задней навеске трактора и состоит из: рамы которая предусматривает установку сборочных единиц; главного редуктора, привода, фрезерных рабочих органов и идущих за ними посевных секций включающих: бункеры для семян с высевальными аппаратами: полозовидные сошники; опорные колеса; и заделывающие рабочие органы в виде прикатывающих каточков. Агрегатируется с тракторами класса 14кН (МТЗ). Техническая характеристика сеялки приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика и основные требования к экспериментальному образцу сеялки точного высева для сахарной свеклы (СТВ-2,4)

Наименование показателей	Показатели
	Экспериментальный образец
Ширина захвата, м	2,4
Ширина междурядий, см	45; 50; 60
Транспортная скорость, км/ч	до 15
Рабочая скорость, км/ч	до 8
Рабочий органы для рыхления почвы	Фрезерные рабочие органы с горизонтальными ножами
Глубина рыхления почвы, см	8–14
Ширина обрабатываемой полосы, см	25
Тип сошника	Полозовидный
Глубина заделки семян, см	3–6
Прикатывающее устройства	Прутковые катки
Агрегатируется с тракторами	1,4кН (типа МТЗ)
Тип высевального аппарата	Пневматический для точного высева семян
Глубина заделки семян	3–6 см

Сеялка- фреза проводит полосовую фрезерную предпосевную обработку почвы, посев семян в обработанную полосу с дальнейшим их прикатыванием.

Был изготовлен экспериментальный образец сеялки в четырехрядном исполнении (рисунок 4)



Рис. 4. Экспериментальный образец сеялки точного высева для сахарной свеклы

[Figure 4. Experimental Prototype of a Precision Seeder for Sugar Beet]

Предварительные испытания экспериментального образца проводились на полях ТОО «Казахский НИИ земледелия и растениеводства» с 25 апреля по 12 мая 2025 года.

Почвенные условия во время проведения испытаний были типичными для резко-континентального климата юго-востока Казахстана. Предшествующая операция – дискование почвы. При этом почва имела в слое 0-20 см влажность 15,3 %, твердости 1,3 МПа и плотность 1,5 г/см³. Почва характеризовалась повышенной комковатостью, при которой содержание фракции почвы размером более 50 мм достигало 7 %, а содержание агрономически ценной фракции размером менее 20 мм не превышало 50 %.

На рисунке 5 показан экспериментальный образец сеялки в работе.



Рис. 5. Экспериментальный образец сеялки СТВ-2,4 в работе.
[Fig7 5. Experimental Prototype of the STV-2.4 Seeder in Operation]

Во время фрезерной обработки почвы и посева сахарной свеклы машина устойчиво выполняла технологический процесс. Качество выполнения технологических операций было удовлетворительным.

Функциональные показатели работы сеялки точного посева сахарной свеклы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Функциональные показатели работы сеялки СТВ-2,4 на операциях по предпосевной фрезерной обработке почвы и посеву сахарной свеклы

Показатели	Значение показателей	Значение показателей
	По агротребованиям	Результаты испытаний
Сроки проведения	Не регламентировано	25 апреля-12 мая 2025г
Агрегат (энергомашина + орудие)	Тракторы класса 1.4 кН	МТЗ-80+СТВ-2,4
Рабочая скорость движения агрегата, км/ч	до 8	6,0
Глубина обработки почвы, см:	Не регламентировано	
- установочная	-	12
-фактическая	-	
$\bar{O}$	-	11,3
$\pm\sigma$ (см)	-	1,8
γ (%)	-	15,9
Глубина посева, см	3-6	
- установочная	-	3,5
-фактическая	-	
$\bar{O}_{(см)}$	-	3,3
$\pm\sigma$ (см)	-	0,63
γ (%)	-	19,1
Количество семян высеянных на 1п.м	5	
- установочное	-	5
-фактическая	-	
$\bar{O}$	-	4,7
$\pm\sigma$ (см)	-	0,6
γ (%)	-	12,8
Количество семян, оставшихся на поверхности, шт/п.м; (%)	0	
$\bar{O}_{(шт)}$	-	0,2
$\pm\sigma$ (шт)	-	0,03

γ (%)	-	15,0
Плотность почвы, г/см ³ по слоям, см	В обработанном слое почвы не более 1,3	
0-5		0,87
5-10		0,95
10-20		1,0
Твердость почвы, МПа, по слоям, см	В обработанном слое почвы не более 1,8	
0-5		1,0
5-10		1,3
10-20		1,8
Крошение почвы, % по фракциям после прохода фрезерных рабочих органов, мм	Содержание фракции размером менее 20мм должно равняться или быть более 80%	
>50		
50-20		15,5
20-10		39,1
<10		45,4
Гребнистость поверхности $\pm$ см	Не более 3	2,5

Согласно приведенным в таблице данным, фактическая глубина фрезерной обработки почвы соответствовала установочной и составляла 11,3см при среднем квадратическом отклонении ($\pm\sigma$) 1,8 см и коэффициенте вариации (γ) 15,9. Твердость и плотность почвы после фрезерования имели оптимальную величину и составляли в слое 0-20см 0,94г/см³ и 1,36 МПа. Содержание мелкокомковатой фракции почвы размером менее 20мм составляло 84,5 %

Глубина заделки семян также была стабильной и в среднем составляла 3,3см при $\pm\sigma = 0,63$ см и $\gamma = 19,1$ %. Количество высеянных семян в рядке на 1 погонный метр составляло 4,7шт. при установочном 5шт. На поверхности почвы семян практически не оставалось (0,2 %).

Таким образом, функциональные показатели работы сеялки соответствовали агротребованиям.

Предварительные испытания экспериментального образца показали, что сеялка работоспособна, устойчиво и качественно выполняет технологический процесс по предпосевной подготовке и посеву семян и может быть использована в свеклосеющих хозяйствах юго-восточной зоны Казахстана.

Замена сплошной обработки почвы на полосовую позволило сократить обрабатываемую площадь на 65 %, что приводит к сохранению плодородия почвы, влаги, снижению расхода поливной воды.

Применение перспективной технологии можно рекомендовать на всех почвах республики Казахстан кроме переувлажненных.

Обсуждение.

Согласно проведенным исследованиям установлено, что на почвах южной зоны Казахстана качество предпосевной обработки почвы зависит от ее влажности и технологии осуществления, включающей технологические операции и технические средства для их выполнения. Установлено преимущество фрезерной предпосевной обработки по сравнению с обработкой орудиями с пассивными рабочими органами за счет увеличения интервала оптимальной влажности, обеспечивающей качественное крошение почвы, сокращения обрабатываемой площади на 65 % за счет полосовой обработки почвы.

Для разработки комбинированной сеялки фрезы были обоснованы параметры ее фрезерных рабочих органов, адаптированных к работе на почвах, подверженных иссушению и комкообразованию.

На основании проведенных исследований был изготовлен экспериментальный образец сеялки и проведены его предварительные испытания, которые показали, что сеялка устойчиво выполняла технологический процесс. Качество обработки почвы соответствовало агротребованиям, предъявляемым к данной операции.

Полосовая обработка почвы за счет сокращения обрабатываемой площади на 65 %, позволяет сохранить плодородие почвы, снизить расход поливной воды.

Применение разрабатываемой машины в свекловодческих хозяйствах республики, позволит увеличить урожайность сахарной свеклы, сохранить плодородие почв и сократить затраты на возделывание пропашных культур.

Применение перспективной технологии можно рекомендовать на всех почвах республики Казахстан кроме переувлажненных.

Заклучение.

Проведены теоретические исследования по определению основных параметров фрезерных рабочих органов сеялки.

Проведены исследования по определению интервала влажности для оптимального крошения почвы пассивными рабочими органами однооперационных машин и активными рабочими органами фрез.

Изготовлен экспериментальный образец и проведены его предварительные испытания, согласно которым фактическая глубина фрезерной обработки почвы соответствовала установочной. Твердость и плотность почвы после фрезерования имели оптимальную величину 0,94г/см³ и 1,4МПа (в слое 0–20см). Содержание мелкокомковатой фракции почвы размером менее 20мм составляло 84,5 %. Глубина заделки семян была стабильной в среднем 3,3см. Количество высеянных семян в рядке на 1 погонный метр составляло 4,7шт. при установочном 5шт.

Экспериментальный образец работоспособен, устойчиво выполнял технологический процесс по предпосевной фрезерной обработке почвы и посеву семян сахарной свеклы.

Замена сплошной обработки почвы на полосовую позволило сократить обрабатываемую площадь на 65 %, что приводит к сохранению плодородия почвы, снижению расхода поливной воды.

Применение перспективной технологии можно рекомендовать на всех почвах республики Казахстан, кроме переувлажненных.

REFERENCES

- Aldoshin N.V. Panov A.I. & Mehedov M.A (2019). Sovershenstvovanie konstrýktsii frezernoi mashiny dlia narezki griad [Perfection is a designer of a milling machine for cutting gryads] - *Vestnik FGOY VPO «MGAY imeni V.P. Goriachkina»*, 1(89). 15–19. Retrieved from <https://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-03-2019-01.pdf/download/vmgau-03-2019-01.pdf> [in Russ.]
- Dobrinov A.V., Rýjev V.A., Koaeva O.V. & Borýlko V.G. (2020). Obosnovanie razmera kombinirovannogo agregata dlia obrabotki pochvy i poseva griad [Justification of the size of the combined implement for soil cultivation and seedbed preparation.] - *Naychnyi jýrnal KýbGAY*, 159(05). 1–10. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-razmera-kombinirovannogo-agregata-dlya-obrabotki-pochvy-i-poseva/viewer> [in Russ.]
- Kanarev F.M. (1983). Rotatsionnye pochvoobrabatyvayúie mashiny i orýdúia. — M.: Mashinostroenie. Retrieved from <https://www.booksite.ru/fulltext/992676/text.pdf> [in Russ.]
- Maenski A.A., Sinkevich P.N. & Bobrovnik A.I. O Frezernoi obrabotke pochvy [Milling processing of pocheva.] - Retrieved from. <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/4684/1/ehnergeticheskaya-ocenka-rotatsionnyh-pochvoobrabatyvayushchih-mashin-i-rekomendacii-po-vyboru-bazovogo-ehnergeticheskogo-sredstva-dlya-ih-agregirovaniya.pdf> [in Russ.]
- Moitzi G & Boxberger J. (2007). Vermeidung von Bodenschadverdichtungen beim Einsatz von schweren Landmaschinen – eine aktuelle Herausforderung. *Lándlicher Raum*. 1–27. Retrieved from https://www.bmluk.gv.at/dam/jcr:3f712b13-7c56-4904-b2d1-dc3d286cad8d/Moitzi_Boxberger_pdf_END.pdf
- Nesmian A.Iý., Tsench Iý.S. (2018). Tendentsii i perspektivy razvitiia otechestvennoi tekhniki dlia poseva zernovykh kýltýr [Tenders and prospects for the development of domestic equipment for sowing grain crops] // *Selskokoziastvennyie mashiny i tehnologu*. 13.(3). 45-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-45-52 [in Russ.]
- Nourelidin Sharaby, Artyom Doroshenko, Andrey Butovchenko, and Aleksandr Legkonogih (2019). A comparative analysis of precision seed planters. E3S Web of Conferences 135, 01080 (2019). Pp. 1–19 DOI:10.1051/e3sconf/201913501080
- Petrovets V.R., Kozlov S.I., Kýziýr V.M. & Býdko S.I. (2022). Obzor sýestvýiykh konstrýktsii zadelyvayúih organov seialok i pochvoobrabatyvayúie-posevnyh agregatov [An overview of the quality of the design touching organs of seeders and tillage-sowing units] // *Vestnik Belorýsskoi selskokoziastvennaia akademi*, 2 (90), 67–73. Retrieved from <https://libryansk.ru/obzor-suschestvuyuschih-konstrukcij-zadelyvayuschih-organov-seyalok-i-pochvoobrabatyvayusche-posevnyh-agregatov/> [in Russ.]
- Skorohodov A.N. & Kosolapov V.V. (2012). Posev saharnoi svekly propashnymi seialkami s modernizirovannoi soshnikovoi grýppoi [Sowing sugar beet with rowed seeders with an upgraded coulter group] // *Vestnik Nijegorodskogo gosýdarstvennogo injenerno-ekonomicheskogo institýta. Tehnicheskie nayki*, 4 (11). 204–210. Retrieved from. <https://cyberleninka.ru/article/n/posev-saharnoy-svekly-propashnymi-seyalkami-s-modernizirovannoy-soshnikovoy-gruppy/viewer>. [in Russ.]
- Tsypýk A.M. (1996). Strýktýra pochvy pri frezerovanii [How much is the structure when milling..]. *Trýdy Lesoinjenernogo fakýlteta Petrozavodskogo gosýdarstvennogo ýniversiteta*. 104–105. Retrieved from Downloads/article_2378%20(16).pdf [in Russ.]
- Ismail Z. Ebrahim, Ayman H. Amer Eissa & Wang Yingkuan (2010). Vertical brush seed metering device for sweet sugar beet planter. *Int J Agric & Biol Eng*. 2(4). 26–37. Retrieved from https://idc-nline.com/technical_references/pdfs/civil_engineering/Vertical%20brush%20seed.pdf
- Rzaliyev A.S., Goloborodko V.P., Chirkov A.G. & Sopov Iý.V. (2013). Vlianie razlichnykh sposobov obrabotki pochvy na ee agrofizicheskie pokazateli [Sepkisher men topyra q óndey qondyrýlarynyñ janasytnyñ organalarynyñ konstrýksiasynyñ sapasyna sholy.] // *Mejýdnarodnyi jýrnal prikladnykh i ýfundamentalnykh issledovani*, 4, 105–109. Retrieved from <https://applied-research.ru/article/view?id=4511>
- Rzaliyev, A., Goloborodko, V., Bekmuhametov, S., Ospanbayev, Z., & Sembayeva, A. (2023). Influence of tillage methods on food security and its agrophysical and water-physical properties // *Food Science and Technology*, 43, e76221.1-10, 1–9. Retrieved from <https://doi.org/10.1590/fst.76221>
- Rzaliyev, A., Goloborodko, V., Bekbossynov, S., Seipataliyev, O., & Begaly, D. (2025). Features of soil tillage in the Southern zone of Kazakhstan. *Brazilian Journal of Biology*, 85, e302109.1–10 Retrieved from <https://doi.org/10.1590/1519-6984.302109>
- Zavrajnov A.A., Zavrajnov A.I., Shepelev V.Iý., & Iakýshev A.V. (2022) Osnovnyie napravleniia sovershenstvovaniia seialok tochnogo vyseva

propashnyh kýtýt.r.[The main directions of improvement of precision seeders of row crops.] // *Vestnik Nijegorodskogo gosýdarstvennogo inžener-no-ekonomicheskogo institúta. Tehnicheskie náýki*, 1 (128), 7–21.DOI: 10.24412/2227-9407-2022-17-21. [in Russ.]

Zýbrilna E.M., Markvo I.A., Jýravlev A.S. & Novikov V.I., Neroda E.V. (2019) Metod obobennoi otsenki pri vybore faktorov i ýrovnei ih varirovaniia v mnogofaktornom issledovanii vysevaýiýh apparatov [Method of Generalized Factor Evaluation in Multicriteria Research of Causal Apparatuses] // *Selskhoziaistvennye mashiny i tehnologi*. 13(4). 65–70. Retrieved from <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-65-70>. [in Russ.].



A.Z. Sapakov^{1}, S.Z. Sapakova², A.R. Karassayeva¹*

¹Department of Electronic Power Engineering, M. Tynyshpaev ALT University JSC, Kazakhstan;

²Department of Computer Engineering, International Information Technology University, Kazakhstan.

E-mail: s.sapakova@iitu.edu.kz

VACUM FREEZE-DRYING SYSTEM WITH INVERTER COMPRESSOR

Sapakov Askar Zamanbekovich, Candidate of Technical Sciences, Department of Electronic Power Engineering, M. Tynyshpaev ALT University JSC, Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

E-mail: a.sapakov@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5708-7862>;

Sapakova Saya Zamanbekovna, Candidate of Mathematical Sciences, Department of Computer Engineering, International Information Technology University, Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

E-mail: sapakovasz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6541-6806>;

Assel Rakhmetullakzy Karassayeva, Master, Senior Lecturer, Republic of Kazakhstan, 050040, Almaty

E-mail: a.karasaeva@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9574-0014>.

Abstract. This study presents the development and experimental validation of an intelligent vacuum freeze-drying system operating from a single-phase 220 V power supply. The system was designed to improve the energy efficiency and operational stability of freeze-drying processes for small and medium-scale food production facilities under conditions of limited electrical infrastructure. The developed installation integrates an inverter compressor and a sequential load control algorithm for energy-intensive components, including the refrigeration system, vacuum pump, and heating system. Experimental investigations were carried out during the freeze-drying of goat milk with a product load of up to 45–50 kg. Temperature, pressure, mass-transfer, and energy-consumption parameters were monitored throughout the drying cycle. The obtained results demonstrated stable maintenance of the vacuum regime within 45–55 Pa and condenser temperature within –46 to 48 °C during the primary sublimation stage. The implemented sequential control algorithm limited peak electrical power consumption to 6.5 kW and ensured stable operation from a standard single-phase 220 V electrical network. Experimental drying of goat milk resulted in residual moisture content of 1.8–4.2 % and moisture removal efficiency exceeding 95 %. Comparative analysis confirmed lower installed power and reduced energy consumption compared with conventional three-phase freeze-drying systems. The obtained results confirm the practical feasibility of applying the developed intelligent vacuum freeze-drying system in farms and small food processing enterprises in Kazakhstan. Vacuum freeze-drying system.

Keywords: vacuum freeze-drying, inverter compressor, intelligent control system, sequential load control, energy efficiency, goat milk, lyophilization, single-phase 220 V power supply, vacuum chamber

For citation: Sapakov A.Z., Sapakova S.Z., Demessova S.T., Ergigitov E.S., Moldybayeva N.I., Zhussupaliyeva M.A. (2026). Investigation of berry freeze-drying processes // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 231–247. <https://doi.org/10.37884/3-2026/19> [in Eng.].

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

Acknowledgements. This research received no external funding.

А.З. Сапаков¹, С.З. Сапакова², Ә.Р. Карасаева¹

¹Мұхамеджан Тынышпаев атындағы АЛТ Университеті, Алматы, Қазақстан;

²Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: sapakovasz@gmail.com

ИНВЕРТОРЛЫҚ КОМПРЕССОРЫ БАР ВАКУУМДЫҚ СУБЛИМАЦИЯЛЫҚ КЕПТІРУ ЖҮЙЕСІ

Сапаков Асқар Заманбекұлы, техника ғылымдарының кандидаты, электроэнергетика кафедрасы, «М. Тынышпаев атындағы АЛТ Университеті» АҚ, 050040, Қазақстан, Алматы

E-mail: a.sapakov@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5708-7862>;

Сапакова Сая Заманбекқызы, математика ғылымдарының кандидаты, компьютерлік инженерия кафедрасы, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, 050040, Қазақстан, Алматы

E-mail: sapakovasz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6541-6806>;

Карасаева Әсел Рахметуллақызы, магистр, сениор-лектор, «М. Тынышпаев атындағы АЛТ Университеті» АҚ, 050040, Қазақстан, Алматы

E-mail: a.karasaeva@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9574-0014>.

Аннотация. Бұл жұмыста бір фазалы 220 В электр қоректендіру желісінен жұмыс істейтін интеллектуалды вакуумдық сублимациялық кептіру жүйесінің әзірленуі және эксперименттік тексерілуі ұсынылған. Жүйе электрлік инфрақұрылымы шектеулі жағдайларда шағын және орта тағам өндірісі кәсіпорындары үшін сублимациялық кептіру үдерістерінің энергия тиімділігі мен пайдалану тұрақтылығын арттыру мақсатында жасалған. Әзірленген қондырғы құрамына инверторлық компрессор және энергияны көп тұтынатын компоненттерге, соның ішінде тоңазыту жүйесіне, вакуумдық насосқа және қыздыру жүйесіне арналған жүктемені тізбектеп басқару алгоритмі енгізілген. Эксперименттік зерттеулер 45–50 кг дейін өнім жүктелген жағдайда ешкі сүтін сублимациялық, кептіру барысында жүргізілді. Кептіру циклі бойы температура, қысым, массаалмасу және энергия тұтыну параметрлері бақыланды. Алынған нәтижелер негізгі сублимация кезеңінде вакуумдық режимнің 45–55 Па ара-лығында, ал конденсатор температурасының 46-дан 48°C аралығында тұрақты сақталғанын көрсетті. Жүзеге асырылған жүктемені тізбектеп басқару алгоритмі электр қуатының шекті тұтынуын 6,5 кВт деңгейінде шектеп, стандартты бір фазалы 220 В электр желісінен тұрақты жұмыс істеуді қамтама-сыз етті. Ешкі сүтін эксперименттік кептіру нәтижесінде өнімнің қалдық ылғалдылығы 1,8 4,2 % ара-лығында болып, ылғалды жою тиімділігі 95 %-дан жоғары болды. Салыстырмалы талдау дәстүрлі үш фазалы сублимациялық кептіру жүйелерімен салыстырғанда орнатылған қуаттың және энергия тұты-нудың төмендегенін растады. Алынған нәтижелер әзірленген интеллектуалды вакуумдық сублимаци-ялық кептіру жүйесін Қазақстандағы фермерлік шаруашылықтар мен шағын тағам өнеркәсібі кәсіпо-рындарында қолданудың практикалық мүмкіндігін дәлелдейді.

Түйін сөздер: вакуумдық сублимациялық кептіру, инверторлық компрессор, интеллектуалды басқару жүйесі, жүктемені тізбектеп басқару, энергия тиімділігі, ешкі сүті, лиофилизация, бір фазалы 220 В қоректендіру жүйесі, вакуумдық камера

Дәйексөз үшін: Сапаков А.З., Сапакова С.З., Демесова С.Т., Ержигитов Е.С., Молдыбаева Н.И., Жусупалиева М.А. (2026). Жидектерді сублимациялық кептіру үдерістерін зерттеу // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 231–247. <https://doi.org/10.37884/3-2026/19> [In Eng.]

Мүдделер қақтығысы: авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

А.З. Сапаков¹, С.З. Сапакова², А.Р. Карасаева¹

¹М. Тынышпаев атындағы ALT University, Алматы, Казахстан;

²Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан.
E-mail: sapakovasz@gmail.com

ВАКУУМНАЯ СУБЛИМАЦИОННАЯ СУШИЛЬНАЯ СИСТЕМА С ИНВЕРТОРНЫМ КОМПРЕССОРОМ

Сапаков Аскар Заманбекович, кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Энергетика», АО «ALT Университет имени М. Тынышпаева», 050040, Казахстан, Алматы

E-mail: a.sapakov@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5708-7862>;

Сапакова Сая Заманбековна, кандидат математических наук, ассоциированный профессор кафедры «Компьютерной инженерии», Международный университет информационных технологий, Казахстан, 050040, Алматы

E-mail: sapakovasz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6541-6806>;

Карасаева Асель Рахметуллакызы, магистр, сениор-лектор, АО «ALT Университет имени М. Тынышпаева», Казахстан, 050040, Алматы

E-mail: a.karasaeva@alt.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-9574-0014>.

Аннотация. В данной работе представлены разработка и экспериментальная проверка интеллектуальной вакуумной сублимационной сушильной системы, работающей от однофазной сети питания 220 В. Система разработана с целью повышения энергоэффективности и эксплуатационной устойчивости процессов сублимационной сушки для малых и средних предприятий пищевой промышленности в условиях ограниченной электрической инфраструктуры. Разработанная установка включает инверторный компрессор и алгоритм последовательного управления нагрузкой для энергоёмких компонентов, включая холодильную систему, вакуумный насос и систему нагрева. Экспериментальные исследования проводились в процессе сублимационной сушки козьего молока при загрузке продукта до 45-50 кг. В течение всего цикла сушки контролировались параметры температуры, давления, массопереноса и энергопотребления. Полученные результаты показали стабильное поддержание вакуумного режима в пределах 45–55 Па и температуры конденсатора в диапазоне от 46 до 48 °С на основной стадии сублимации. Реализованный алгоритм последовательного управления ограничивал пиковое потребление электрической мощности до 6,5 кВт и обеспечивал стабильную работу от стандартной однофазной электрической сети 220 В. Экспериментальная сушка козьего молока обеспечила остаточную влажность продукта в пределах 1,8–4,2 % и эффективность удаления влаги свыше 95 %. Сравнительный анализ подтвердил снижение установленной мощности и уменьшение энергопотребления по сравнению с традиционными трёхфазными системами сублимационной сушки. Полученные результаты подтверждают практическую возможность применения разработанной интеллектуальной вакуумной сублимационной сушильной системы в фермерских хозяйствах и на малых предприятиях пищевой промышленности Казахстана.

Ключевые слова: вакуумная сублимационная сушка, инверторный компрессор, интеллектуальная система управления, последовательное управление нагрузкой, энергоэффективность, козье молоко, лиофилизация, однофазное питание 220 В, вакуумная камера

Для цитирования: Сапаков А.З., Сапакова С.З., Демесова С.Т., Ержигитов Е.С., Молдыбаева Н.И., Жусупалиева М.А. (2026). Исследование процессов сублимационной сушки ягод// Research, results – Изденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 231–247. <https://doi.org/10.37884/3-2026/19> [In Eng.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction.

At present, one of the most effective technologies for dehydrating food and biological products is vacuum freeze-drying, which ensures the preservation of the original structure, organoleptic properties, and

biological value of the product. This technology is in high demand due to its high efficiency in drying milk, meat, berries, fruits, medicinal plant materials, and biological substances [Ruiz-Rodriguez et al., 2008].

In the Republic of Kazakhstan, the relevance of lyophilization is increasing due to the development of the agro-industrial complex, the need for deep processing of agricultural raw materials, and requirements for extending product shelf life while maintaining export potential. In recent years, the agro-industrial sector has been gradually expanding, which has created a growing demand for low-power and energy-efficient freeze-drying systems primarily intended for small farms and processing enterprises.

In addition, many industrial freeze-drying systems require a three-phase 380 V power supply, which is economically inefficient for small and medium-sized enterprises and rural areas. Under traditional control systems, the simultaneous operation of energy-intensive components (compressor, vacuum pump, and tray heaters) results in peak electrical loads, increasing the risk of emergency shutdowns when operating from a single-phase power supply. Currently, the main direction of freeze-drying system development is focused on intelligent and energy-saving solutions. To reduce starting currents in the refrigeration circuit, an inverter compressor can be used, allowing smooth regulation of operating modes. When such compressors are applied, electrical load control can be implemented in a sequential mode, where individual system components are activated and regulated step by step while considering power-consumption limitations.

In the conditions of Kazakhstan, the implementation of these solutions creates opportunities for the development of freeze-drying systems capable of operating efficiently from a standard single-phase 220 V power supply. This, in turn, leads to an increased demand for such installations.

Literature review and problem statement

A number of studies have shown that it is one of the most effective methods for dehydrating food and biological products in terms of preserving their physicochemical, structural, and biological properties. Many researchers report that freeze-drying results in lower losses of vitamins, proteins, and bioactive components compared with spray drying, while also ensuring high rehydration capacity of the final product. Studies confirm that the application of lyophilization significantly reduces the loss of vitamins, proteins, and bioactive compounds compared with convective and spray drying methods and provides high reconstitution quality of the dried product [Ruiz-Rodriguez et al., 2008; Ciużyńska et al., 2011; Chen et al., 2024; Lozano et al., 2014: 703–707; Buana et al., 2025: 106930; Ben et al., 2025: e70163; Ratti, 2001].

The design of industrial freeze-drying systems is comprehensively examined, including their cooling systems and tray-heating systems. It is noted that maintaining temperature-vacuum regimes requires the use of high-power compressors and pumps, leading to increased energy consumption and the need for a three-phase power supply [Ben et al., 2025: e70163; Ratti, 2001; Chupawa et al., 2021: 1738]. However, issues related to adapting vacuum freeze-drying systems to conditions of limited electrical power and single-phase 220 V supply remain unresolved. Most existing technical solutions are oriented toward large industrial enterprises, whereas installations of such capacity are economically impractical for small and medium-sized production facilities and farms. The main reasons include compressor equipment with high starting currents and systems maintaining vacuum and temperature regimes operating simultaneously. High-power installations with this type of control operate exclusively from a three-phase electrical network, whereas single-phase systems are more appropriate for small farms and autonomous facilities [Chupawa et al., 2021: 1738; Fang et al., 2026: 131545; Jameel et al., et al., 2021; Nikiforidis et al., 2019].

Several studies propose the use of inverter compressors in refrigeration systems, which reduces starting currents, enables smooth regulation of cooling capacity, and improves energy efficiency. It has been shown that inverter control contributes to more accurate temperature regulation and reduced specific energy consumption. Another possible approach to overcoming these difficulties is the application of intelligent control systems with sequential activation and regulation of electrical loads [Bano et al., 2020: 5056–5071; Abascal et al., 2005; Liu et al., 2024: 884; Lazarin et al., 2023: 565–575]. This approach is considered in several studies, where the possibility of redistributing load over time and reducing maximum power consumption is demonstrated. However, in existing research, such solutions are typically considered fragmentarily and are not adapted to the specific features of vacuum freeze-drying systems or to operation under a 220 V power supply. Furthermore, the available literature provides limited discussion on the integrated implementation of inverter compressors and sequential load-control algorithms within a unified intelligent control system for freeze-drying installations. A systematic analysis of the influence of these solutions on process stability, energy efficiency, and operational reliability is still lacking [Ruiz-Rodriguez et al., 2008; Li et al., 2023: 01004; Ilić et al., 2005: 1920–1940; Wang et al., 2023; Nst et al., 2025: 178–183].

These considerations indicate the relevance of research focused on the development and analysis of an intelligent vacuum freeze-drying system with an inverter compressor and sequential electrical load control capable of efficient operation from a single-phase 220 V power supply without compromising freeze-drying quality [Stetzer et al., 2008: 64–74; Oztuna Taner, 2024: 38573–38584; Sapakov et al., 2024: 414–422, Liliana et al., 2015: 442–450].

The objective of this study is to develop, experimentally validate, and scientifically substantiate an intelligent vacuum freeze-drying system with an inverter compressor and a sequential load-control algorithm that ensures energy-efficient freeze-drying of food products when powered by a single-phase 220 V electrical network and operating with an increased product load of up to 45–50 kg [Stetzer et al., 2008: 64–74; Alfat et al., 2017; Sun Z. et al., 2025: e70238; Morikawa et al., 2017: 831–838; Prosapio et al., 2017: 1171–1179; Zhang et al., 2022: 1267–127; Bayana et al., 2024: 5000–5022].

To achieve this objective, the following tasks are addressed in this work: development of a functional and physical model of a compact freeze-drying system with an inverter compressor and an intelligent control system; implementation of a sequential control algorithm for energy-intensive units (refrigeration system, vacuum pump, and heating system) to limit peak electrical loads under single-phase 220 V power supply, experimental investigation of the influence of increased product loading on the temperature and vacuum operating modes of the cooling system and condenser; determination of the main thermal, vacuum, mass-transfer, and energy parameters of the vacuum freeze-drying process under different operating modes; evaluation of the efficiency of vacuum freeze-drying of goat milk based on moisture removal depth and the dynamics of temperature, pressure, and moisture-content changes; comparative analysis of the energy and operational characteristics of the developed system with traditional three-phase vacuum freeze-drying systems; justification of stable and energy-efficient operation of the intelligent vacuum freeze-drying system under conditions of limited electrical infrastructure and single-phase power supply [Zhang et al., 2023: 2679–2687; Wang et al., 2026: 108279; Jameel et al., et al., 2021; Abascal et al., 2005].

The scientific novelty of this study lies in the development of an intelligent vacuum freeze-drying system with an inverter compressor and a sequential load-control algorithm, capable of stable operation from a standard single-phase 220 V electrical network with a product load of up to 45–50 kg. Unlike conventional freeze-drying systems requiring a three-phase power supply, the proposed system implements sequential control of the compressor, vacuum pump, and heating elements, which limits peak power consumption to 6.5 kW while maintaining stable technological parameters of the drying process. The scientific contribution of the study consists of the development and experimental validation of a sequential load-control algorithm integrated with an inverter compressor, enabling stable operation of a 45–50 kg vacuum freeze-drying system from a single-phase 220 V power supply.

Materials and Methods.

In the laboratory of the Department of Energy and Electrical Engineering of the Kazakh National Agrarian Research University, a simplified physical model of a compact vacuum freeze-drying system was installed, as shown in Figure 1.

Description of the Experimental Setup

The experimental vacuum freeze-drying system consisted of a vacuum chamber, a refrigeration system with an inverter compressor, a condenser, a vacuum pump, electric heating elements, a control valve, temperature and pressure sensors, and a Siemens S7–1200 programmable logic controller (PLC), as shown in Figure 1. The product was placed on trays equipped with electric heating elements installed beneath them.

The refrigeration system employed an inverter-driven compressor providing smooth cooling-capacity regulation, reduced starting current, and improved energy efficiency.

The condenser temperature was maintained within the range from –46 to –48 °C, while the vacuum pump generated and maintained the operating pressure in the range of 45–55 Pa. Moisture removed from the product during sublimation was deposited on the cooled condenser surface in the form of ice. The pressure inside the chamber was measured using a vacuum sensor, and all measured signals were transmitted to the PLC-based control system. A control valve was used to regulate and release the vacuum inside the chamber.

The Siemens S7–1200 PLC monitored temperature and pressure parameters and coordinated the operation of the inverter compressor, vacuum pump, heating elements, and control valve according to the developed sequential load-control algorithm. This control strategy enabled stable operation of the freeze-drying system from a standard single-phase 220 V power supply while limiting peak power consumption. The structural configuration of the experimental setup is presented in Figure 1, whereas the flowchart of the sequential load-control algorithm is shown in Figure 4.

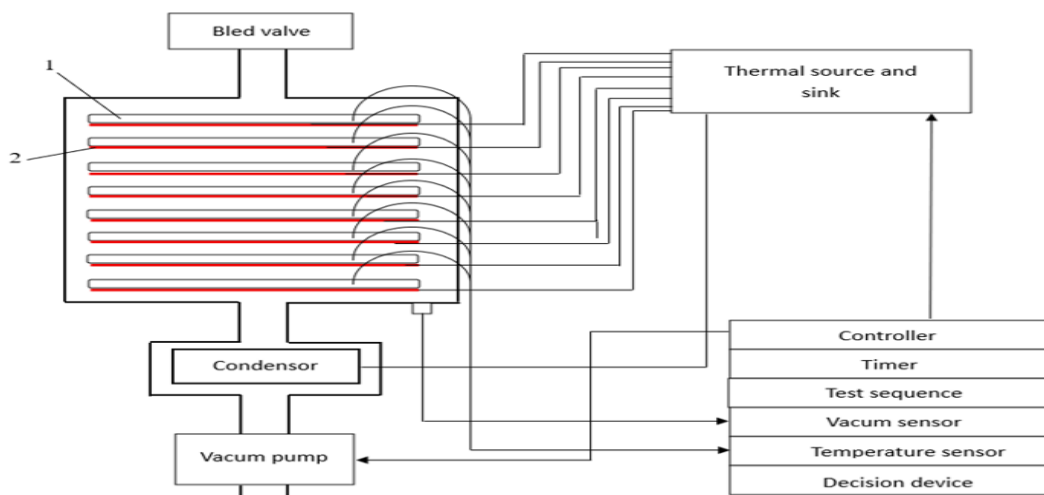


Fig. 1. Functional diagram of the vacuum freeze-drying system with tray-heating control, condenser cooling, and vacuum supply, where: 1- trays for product placement; 2-electric heating elements of the trays in the cooling system and condenser of the freeze-drying unit

The freeze-drying process included the following stages: product preparation and loading into the vacuum chamber (up to 45–50 kg), preliminary cooling and freezing, vacuum generation, primary sublimation drying, sequential control of electrical loads, secondary drying for the removal of residual moisture, and completion of the drying process. The mass of the product was measured at different stages of the process using laboratory scales, where m_1 is the product mass before freeze-drying (kg), and m_2 is the product mass after completion of the primary sublimation stage (kg). These values were used to determine the amount of removed moisture and to evaluate the performance of the freeze-drying system under increased product loading conditions.

Freeze-drying under increased product load in laboratory conditions

Considering the objective of the research task, the development, design justification, and experimental validation of a freeze-drying unit with a capacity of 45–50 kg powered by a single-phase electrical network, the experiment was aimed at evaluating the operational performance of the unit and optimizing the freeze-drying process under increased product load. Based on the above-mentioned model of the freeze-drying unit, experimental measurements were carried out at different product load levels according to the following variables: p_1 -pressure in the vacuum chamber at the initial stage of sublimation, Pa; p_2 -pressure in the vacuum chamber during the period of intensive moisture release from the product, Pa; t_p - change in product temperature during sublimation, °C; t_c - temperature of the inner surface of the condenser, °C; $\dot{m}_w$ - mass flow rate of sublimated moisture entering the condenser at different product load levels, kg/s; τ_s - duration of the sublimation drying process, h; N -energy consumption of the unit under sequential control, kWh.

Using the freeze-drying unit, 14 measurements of goat milk samples were carried out. Measurements No. 1–9 were conducted in February 2022, while measurements No. 10–14 were performed in April 2022. The results of the experiments conducted under different operating modes are presented in Table 1. During the measurement process, the moisture content of the goat milk samples was determined: w_{c1} , initial moisture content of the product before the start of freeze-drying; w_{c2} - moisture content after completion of the primary sublimation stage and removal of the sample from the vacuum chamber.

The moisture content was determined using a Class I laboratory hygrometer. Prior to the experiment, a metrological verification of the measurement accuracy of the instruments was performed. During measurements No. 9–14, the moisture content of the goat milk sample reached 6.7 %. The measurement conditions and the parameters used are presented in Table 2. The obtained results were used to analyze the performance of the freeze-drying unit.

Table 1 – Values of Measured Variables During Freeze-Drying of Goat Milk

p_1 - product temperature in the vacuum chamber, °C; t_{p1max} - maximum milk temperature, °C; $t_{p2,max}$ - change in product temperature when the heating system is switched on, °C; $t_{p,avg}$ - average milk temperature during the freeze-drying process, °C; p_{avg} - average pressure in the vacuum chamber during the freeze-drying process, Pa; t_s - temperature of the heated shelf in the vacuum chamber, °C; τ_2 - duration of the primary sublimation stage, h; m_{L1} - mass of the loaded product at the beginning of sublimation, kg; m_{L2} - mass of the product after completion of sublimation, kg.

Measurement No.	p ₁ , Pa	t _{p1,max} , °C	t _{p2,max} , °C	p _{max} , Pa	t _{p,avg} , °C	(t _{p2} -t _{p1}), min	τ ₂ , h:min	mL ₁ , g	mL ₂ , g
1	100.76	55.2	5.82	45.6	38.8	1.9	1:06	1300.00	1293.78
2	102.77	50.9	5.91	43.9	38.9	2.1	0:45	1300.00	1295.00
3	102.45	52.7	6.62	44.9	39.1	2.3	0:54	1300.00	1294.80
4	101.95	60.3	9.19	52.4	46.9	1.7	0:37	1300.00	1292.82
5	101.66	60.6	9.81	53.8	48.4	0.6	0:34	1300.00	1292.00
6	101.28	59.8	9.51	53.8	48.8	3.0	0:33	1300.00	1291.49
7	102.06	61.6	9.35	61.6	62.7	17.6	0:57	1300.00	1294.20
8	101.95	62.6	9.26	61.5	60.2	15.6	0:56	1300.00	1290.36
9 (2 cycles)	101.93	60.5	8.66	54.1	48.6	4.6	1:26	1300.00	1282.93
9 (1 cycle)	101.93	60.5	9.02	54.0	48.7	3.6	0:40	1300.00	1289.80
9 (2 cycles)	101.69	60.4	8.31	54.1	48.6	5.5	0:46	1289.80	1282.86
10	100.74	60.0	9.74	54.2	48.7	2.6	0:48	1300.00	1295.00
11	99.90	61.4	9.70	55.2	48.5	2.2	1:29	1300.00	1297.11
12	102.08	60.0	8.41	59.5	59.5	16.9	0:28	1300.00	1296.86
13	101.95	60.5	9.42	60.7	59.6	14.2	0:42	1300.00	1295.80
14	100.00	60.1	8.73	61.0	62.8	18.2	0:58	1300.00	1295.90

Table 2 – Laboratory Conditions for Determining the Moisture Content of Goat Milk

Parameter	Value
Pre-drying temperature, °C	60±1
Pre-drying time, min	360
Sample mass before drying, g	10
Physical state of the product	Liquid (goat milk)
Main (reference) drying temperature, °C	130±1
Main drying time, min	240
Sample mass after pre-drying, g	5
Sample condition during main drying	Dried residue (ground)

The initial moisture content w_{e1} of representative goat milk samples under two experimental conditions was determined using the gravimetric method and had the values presented in Table 3: $w_{e1}=10.487\%$ for measurements performed in February 2022; $w_{e1}=8.858\%$ for measurements performed in April 2022. The initial moisture content was determined using representative milk samples with masses of m_L g (February 2022) and $m_L=9.996$ g (April 2022).

The mass of the goat milk sample was defined as follows: m_L - at the beginning of the experiment, g; m_d - after completion of vacuum freeze-drying (lyophilization), g. Based on the initial moisture content w_{e1} , the dry matter mass m_d , and the moisture content after drying were calculated. The obtained values were used to evaluate the efficiency of the vacuum freeze-drying process.

Table 3 – Results of determining the dry matter mass and moisture content w_{e1} in the milk sample

Period of goat milk moisture content measurement	February 2024	April 2024
Mass of goat milk sample, m_L , g	10.000	9.996
Mass of the sample after preliminary freezing and vacuuming, g	9.800	9,866
Mass of the sample before primary freeze-drying, g	5.000	5.002
Mass of the sample after primary freeze-drying, g	4.567	4.619
Dry matter mass in the sample, m_d , g	8.951	9.111
Moisture content of the goat milk sample, w_{e1} , %	10.487	8.858

The mass of dry matter m_d in goat milk is determined by the following equation:

$$m_d = m_{L1} \left(1 - \frac{w_{e1}}{100} \right), \text{ g} \quad (1)$$

where: m_{L1} mass of the goat milk sample at the initial stage of the experiment, g; w_{c1} - initial moisture content of goat milk, %.

The process of vacuum freeze-drying of goat milk is shown in Figure 2. Figure 2a presents the placement of trays with product samples inside the vacuum chamber of the freeze-drying unit. Figure 2b shows the preparation and placement of frozen goat milk samples on trays before sublimation. Figure 3c illustrates the deposition and accumulation of ice on the condenser surface during the freeze-drying process. Figure 2d shows the freeze-dried goat milk obtained after the process.

The relative moisture content of the goat milk sample (mass fraction of moisture) is defined as the ratio of the moisture mass m_{wi} to the sample mass m_{L1} and is calculated using the following expression:

$$w_{ci} = 100 \cdot \frac{m_{wi}}{m_{L1}} = 100 \cdot \frac{m_{L1} - m_d}{m_{L1}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{m_d}{m_{L1}}\right), \% \quad (2)$$

where: m_{wi} - mass of moisture contained in the goat milk sample, g.

$$\Delta w_c = w_{c1} - w_{c2} (\%)$$

Fig.2. Vacuum freeze-drying process of goat milk

The moisture content of the goat milk sample after completion of the primary sublimation stage, w_{c2} , is determined by the gravimetric method based on the calculated dry matter mass m_d and the experimentally measured sample masses m_{L2} and m_{L3} , respectively, in accordance with the data presented in Table 1. Measurements of milk samples performed during freeze-drying under specified operating conditions can be compared using the following parameters.

The difference in moisture content Δw_c of the milk sample between the initial moisture content w_{c1} at the beginning of the experiment and the moisture content w_{c2} after completion of the secondary drying stage, which ensures the removal of residual bound moisture. is determined by the following expression:

$$\Delta w_c = w_{c1} - w_{c2} (\%) \quad (3)$$

The relative moisture content difference $\Delta w_{c,rel}$ of the goat milk sample is defined as the ratio of the moisture content difference Δw_c to the initial moisture content of the product w_{c1} and is calculated using the following formula:

$$\Delta w_{c,rel} = 100 \cdot \frac{w_{c1} - w_{c2}}{w_{c1}} (\%) \quad (4)$$

These indicators make it possible to quantitatively evaluate the efficiency of the vacuum freeze-drying process. Leaks in the vacuum system lead to an increase in chamber pressure p_i . The pressure during the heating and sublimation stages was characterized by its average value $p_{i,avg}$. It was recorded that the maximum product temperature under all operating modes reached $tp_{1,max} = 60 \pm 3^\circ\text{C}$.

During the heating stage, the chamber pressure p_l remained within the range of 99.90–102.77 Pa. At the beginning of the sublimation stage, the temperature $tp_{1,max}$ coincided with $t_{p2,max}$. During freeze-drying of milk, according to measurements No. 1-3, the average chamber pressure p_{avg} was in the range of 43.9–45.6

Pa. During these measurements, the maximum product temperature $t_{p1, \max}$ increased to 50.9–55.2 °C.

Measurements No. 4-14 were carried out at an average chamber pressure p_{av} in the range of 52.4-61.6 Pa, while the maximum product temperature at the end of the heating stage was within 59.8-62.6 °C. During the freeze-drying process, heat was removed from the dry portion of the product, resulting in a decrease in product temperature from t_{p2} to $t_{p2, \min}$.

The decrease in temperature t_{p2} was determined by the magnitude of the thermal power supplied by the heating system. The value of the temperature $t_{p1, \max}$ during the heating stage was selected so that, at the end of the sublimation process, the minimum product temperature $t_{p2, \min}$ remained higher than the saturation temperature of water vapor $t_s(p_2)$ at the corresponding pressure p_2 . In experiments No. 1–6 and no. 9-11, a reduction in the thermal power supplied by the heating system was carried out. Sublimation was completed when the minimum temperature difference $(t_{p2, \min} - t_s)_{\min}$ reached a range of 0.6–5.5 °C. In experiments No. 7, No. 8, and No. 12–14, the thermal power supplied by the heating system was entirely consumed for the sublimation of moisture removed from the product. The temperature difference during sublimation drying between the initial value $t_{p1, \max}$ and the final value $t_{p2, \min}$ ranged from -2.7 to 2.4 °C. Upon completion of the sublimation process, the value $(t_{p2, \min} - t)_{in}$ was 14.2–18.2 °C. After completion of the sublimation process, the product was removed from the vacuum chamber and weighed. During sublimation, the product mass decreased to the value m_{p2} . At the final drying stage, residual moisture was removed from the milk by additional heat supply, after which its final mass m_{L3} was determined.

Sequential Load-Control Algorithm of the Intelligent Vacuum Freeze-Drying System

To ensure stable operation of the developed vacuum freeze-drying unit operating from a single-phase power supply, a sequential load-control algorithm was developed. The proposed control strategy coordinates the operation of the compressor, vacuum pump, and heating elements in order to limit peak power consumption while maintaining the required technological parameters of the freeze-drying process. The control sequence begins with loading the product into the vacuum chamber, followed by PLC initialization and verification of all temperature, pressure, and system-status sensors. If a fault is detected during the diagnostic procedure, the system enters an emergency shutdown mode, activates an alarm signal, and initiates troubleshooting procedures before returning to system verification. After successful diagnostics, the product undergoes preliminary cooling and freezing. Subsequently, a vacuum is generated inside the drying chamber. The chamber pressure is continuously monitored, and the process proceeds only after the operating pressure range of 45–55 Pa has been achieved. If the required pressure level is not reached, vacuum generation and leak monitoring continue until stable operating conditions are established. Once the target pressure has been achieved, the major electrical loads are activated sequentially in the following order: compressor, vacuum pump, and heating elements. This operating strategy reduces peak electrical demand, prevents excessive loading of the single-phase power supply, and improves the overall energy efficiency of the freeze-drying system.

The primary sublimation drying stage is then initiated. During operation, the control system continuously monitors instantaneous power consumption and residual moisture content. If the instantaneous power consumption exceeds 6.5 kW, the control algorithm adjusts the load activation sequence and limits power demand to maintain stable operation. Similarly, if the residual moisture content remains above 6.7 %, the system continues the primary sublimation stage until the target moisture level is achieved. After reaching the required residual moisture content, the process proceeds to the secondary drying stage, where bound moisture is removed from the product. The drying cycle is completed by pressure equalization inside the chamber and unloading of the dried product. The flowchart of the proposed sequential load-control algorithm is presented in Figure 4. The algorithm ensures stable operation of the vacuum freeze-drying unit while limiting peak power consumption t kW and maintaining the required product moisture content throughout the drying process.

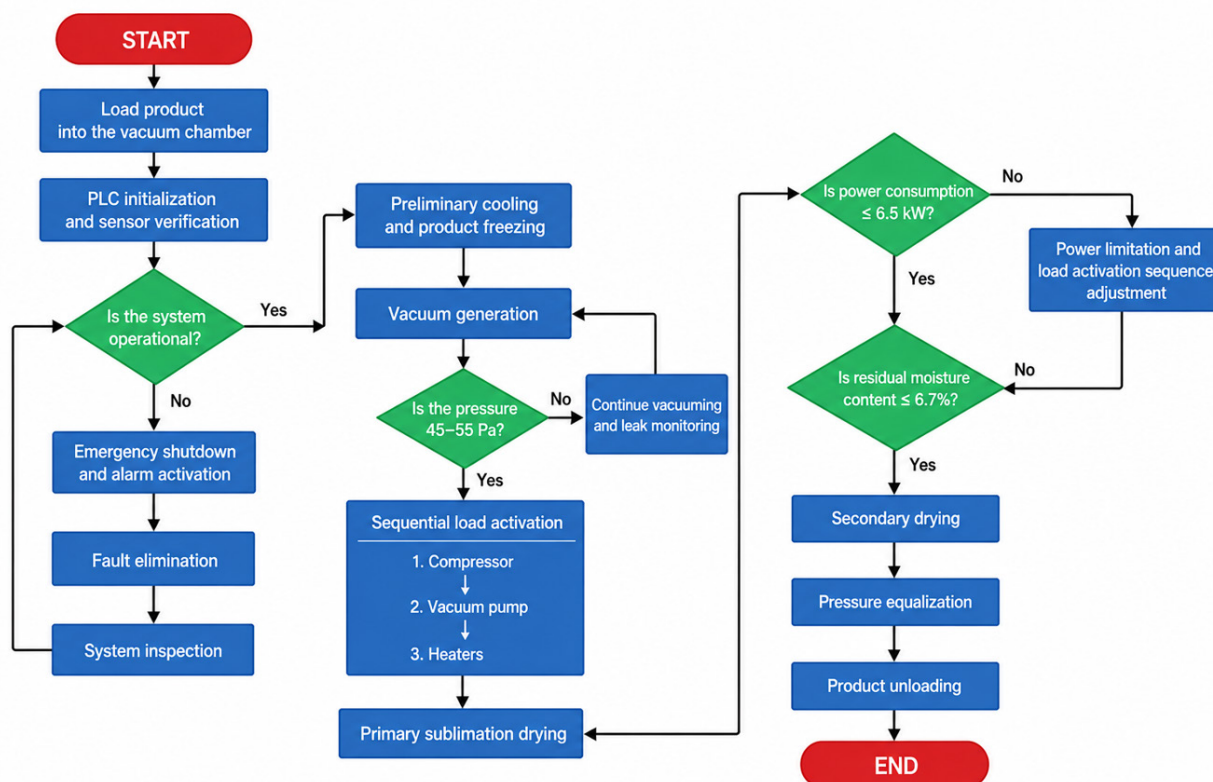


Fig.3. Flowchart of the Sequential Load-Control Algorithm for the Intelligent Vacuum Freeze-Drying System

Results.

All experimental studies were carried out with the same initial sample mass $m_{11}=100$ g. Based on Equations (1-4), the dry matter mass m_d was determined. On this basis, the relative moisture content difference $\Delta w_{c,rel}$ was calculated. The values of moisture content w_{c1} , w_{c2} , w_{c3} , as well as the absolute moisture content difference $\Delta w_c = w_{c1} - w_{c3}$, are summarized and presented in Table 4.

Table 4 – Results of the calculation of the moisture parameters of goat milk samples

Measurement No.	m_{L1} , g	w_{c1} , %	m_d , g	w_{c2} , %	w_{c3} , %	Δw_c , %	$\Delta w_{c,rel}$, %
1	100.0	87.0	13.0	12.0	4.0	75.0	95.4
2	100.0	86.5	13.5	11.5	3.8	75.0	95.6
3	100.0	87.2	12.8	12.3	4.2	74.9	95.2
4	100.0	86.8	13.2	11.8	4.0	75.0	95.4
5	100.0	87.0	13.0	12.1	4.1	74.9	95.3

The results presented in the table indicate high drying efficiency

Change in Product Temperature Over Time During Vacuum Freeze-Drying

Based on the data presented in Table 1, the change in product temperature over time is shown in Diagram 5. The diagram presents three main temperature dependencies: t_p - product temperature in the vacuum chamber, °C; t_h - temperature of the heating elements, °C; t_c - temperature of the inner surface of the condenser, °C. In the time interval of 0–1.5 hours, the product undergoes freezing. During this period, the product temperature decreases and moisture transitions into a solid state. In the interval of 1.5–3.0 hours, deep freezing is carried out. The product temperature decreases to -30 °C. The main sublimation process occurs within the interval of 3.0–6.0 hours.

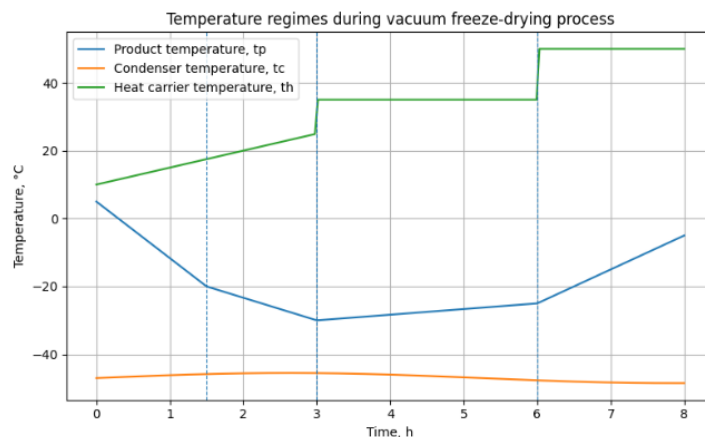


Fig. 5. Change in Product Temperature Over Time During Vacuum Freeze-Drying

The temperature of the heat carrier is approximately 35 °C, while the temperature of the condenser surface is -46...-48 °C. After 6.0 hours, the secondary drying stage begins. The temperature of the heat carrier increases to 50 °C. The temperature diagram demonstrates the correctness of the sublimation drying process and the stable operation of the unit powered by a single-phase 220 V electrical supply.

Influence of condenser temperature on sublimation intensity during freeze-drying

As shown by the temperature variation in the condenser, during the sublimation process within the interval of approximately 1.5–5.5 hours, the condenser temperature remained within the range of -46... -48 °C, indicating stable operation of the inverter compressor (Figure 6).

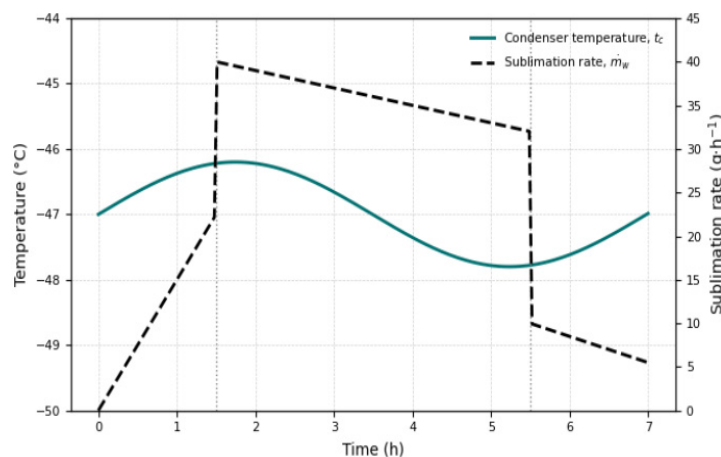


Fig.6. Dependence of condenser temperature and sublimation intensity on time during vacuum freeze-drying

Change in Pressure in the Vacuum Chamber

During the interval of 0-1.5 hours, the freezing process was carried out, and the pressure in the chamber remained at the atmospheric level (Figure 7).

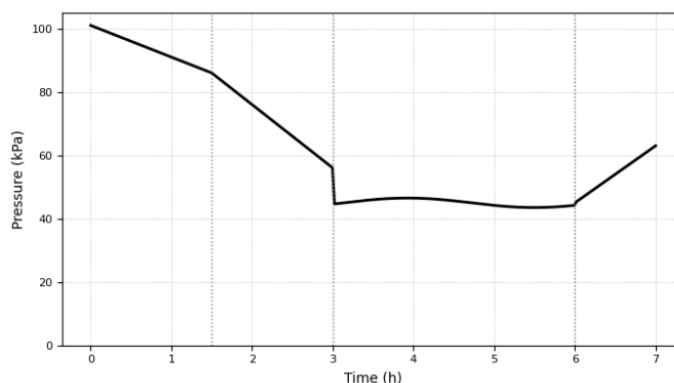


Fig.7. Change in Pressure in the Vacuum Chamber

In the interval of 1.5–3.0 hours, the vacuum mode was established. During the interval of 3.0–6.0 hours, the main stage of sublimation took place, while the pressure stabilized at approximately 45–50 Pa. After 6.0 hours, the pressure in the chamber gradually increased to the atmospheric level, indicating the correct

completion of the technological cycle.

Relationship between pressure and product temperature

The relationship between pressure and product temperature is shown in Figure 7. As the product temperature varied within the range of $-35\ldots-20^\circ\text{C}$, the pressure in the vacuum chamber was maintained at 45–55 Pa. The correspondence between pressure and temperature indicates the correct selection of vacuum regime parameters and thermal control.

The presented diagram reflects the physical relationship between the pressure in the vacuum chamber and the product temperature. The obtained relationship can be used to optimize freeze-drying operating conditions.

Change in product mass over time

Figure 8 shows three stages of freeze-drying: pre-cooling (0–1.5 h), primary sublimation (1.5–5.5 h), and secondary drying (after 5.5 h). The greatest reduction in product mass is observed during the primary sublimation stage, whereas during the secondary drying stage, the change in product mass slows down.

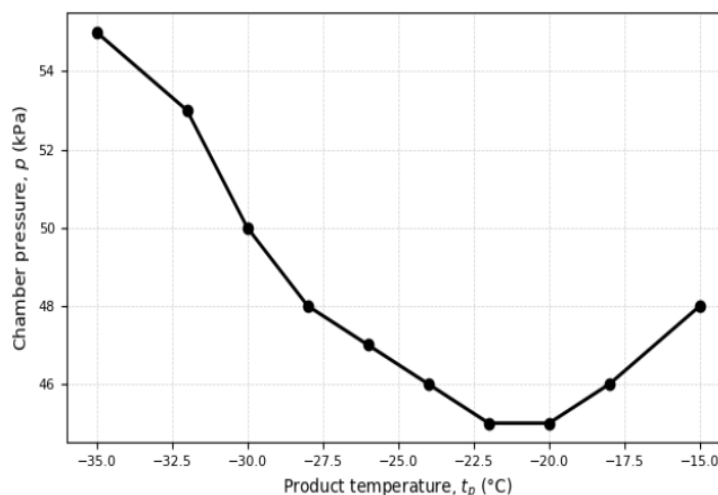


Fig. 8. Relationship Between Pressure in the Vacuum Chamber and Product Temperature During Vacuum Freeze-Drying

Change in product mass over time

Figure 9 shows three stages of freeze-drying: pre-cooling (0–1.5 h), primary sublimation (1.5–5.5 h), and secondary drying (after 5.5 h). The greatest reduction in product mass is observed during the primary sublimation stage, whereas during the secondary drying stage, the change in product mass slows down.

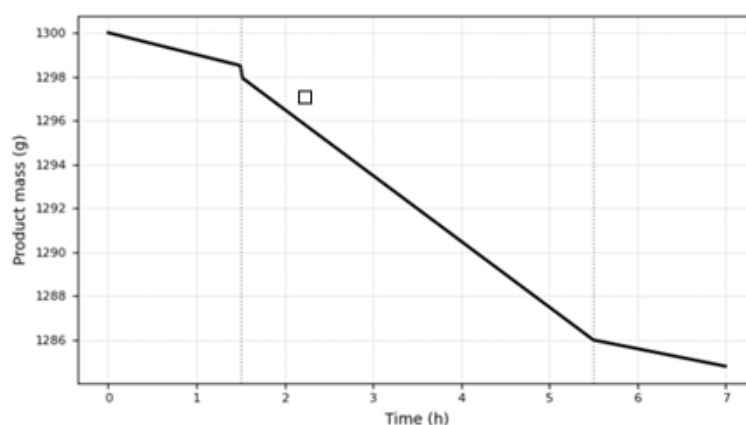


Fig.9. Change in Product Mass Over Time (Product Mass vs Time)

The obtained relationship describing the change in product mass over time confirms the correctness of the selected operating modes of vacuum freeze-drying.

Change in product moisture content

The diagram presented in Figure 9 shows the variation of the product moisture content during the process. The diagram indicates that at the initial stage (0–1.5 h), preliminary cooling takes place, while the moisture content changes only slightly from approximately 10.5 % to about 10.2 %, since the moisture remains in a solid state.

In the interval of 1.5–3.0 h, a decrease in product moisture content to approximately 6 % is observed.

During this period, moisture transitions from the solid phase to the vapor phase, accompanied by moisture removal from the product.

In the following interval (3.0–5.5 h), the moisture content continues to decrease to approximately 2.8 %, indicating the completion of the primary sublimation stage and the removal of most of the free moisture.

At the final stage of the process (5.5–7.0 h), corresponding to the secondary drying stage, the reduction in moisture content occurs more slowly, reaching a final value of approximately 1.8 %.

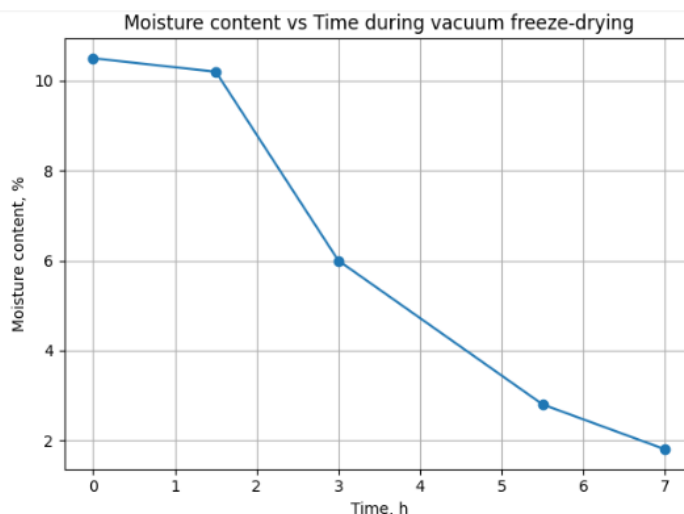


Fig. 10. Change in Product Moisture Content Over Time During Vacuum Freeze-Drying

The obtained relationship confirms the correctness of the selected temperature-vacuum operating conditions.

Comparison of the Proposed Unit with Conventional Solutions

The diagram presents a comparative analysis of the proposed unit and conventional vacuum drying systems based on the main technical and energy performance indicators. These include installed electrical power, specific energy consumption per drying cycle, productivity, and the duration of the technological cycle (Figure 11).

The presented comparative diagram clearly demonstrates the advantages of the developed unit compared with traditional technical solutions. It is shown that the proposed unit is characterized by a significantly lower installed electrical power of up to 6.5 kW, which enables its operation from a single-phase 220 V electrical network without the need for connection to industrial three-phase power sources.

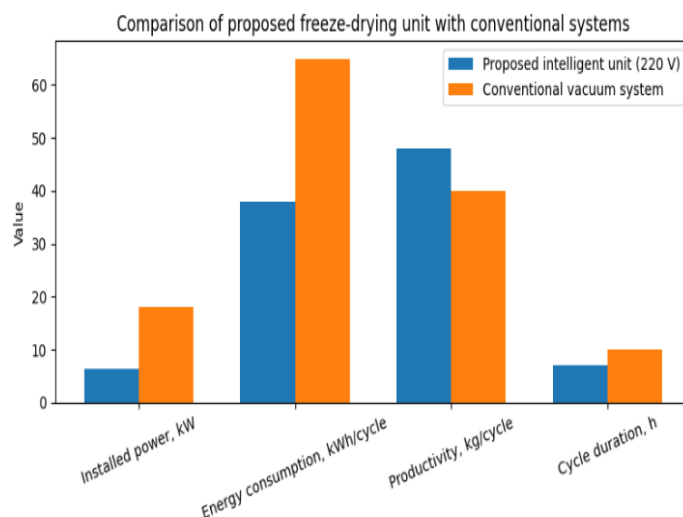


Fig.11. Comparison of the proposed intelligent vacuum freeze-drying unit (single-phase 220 V power supply) and a conventional industrial vacuum drying system based on the main technical and energy performance indicators

It is shown that, with a product load of 45–50 kg, a reduction in energy consumption per drying cycle is observed. The shortening of the technological cycle duration confirms the effectiveness of the implemented algorithm for sequential control of the main system units.

Time diagram of sequential load control

The presented diagram (Figure 12) shows the sequence of control of the compressor, cooling system, vacuum pump, and heating system. The color coding reflects the operating modes of individual units at different stages of the drying process. The bottom row of the diagram represents the compressor of the refrigeration system. The blue color (0–1.5 h) corresponds to the stage of preliminary cooling and product freezing. The orange color (1.5–3.0 h) characterizes compressor operation during the formation of the vacuum regime. The green color (3.0–5.5 h) indicates the maintenance of a stable condenser temperature during the main stage of vacuum freeze-drying.

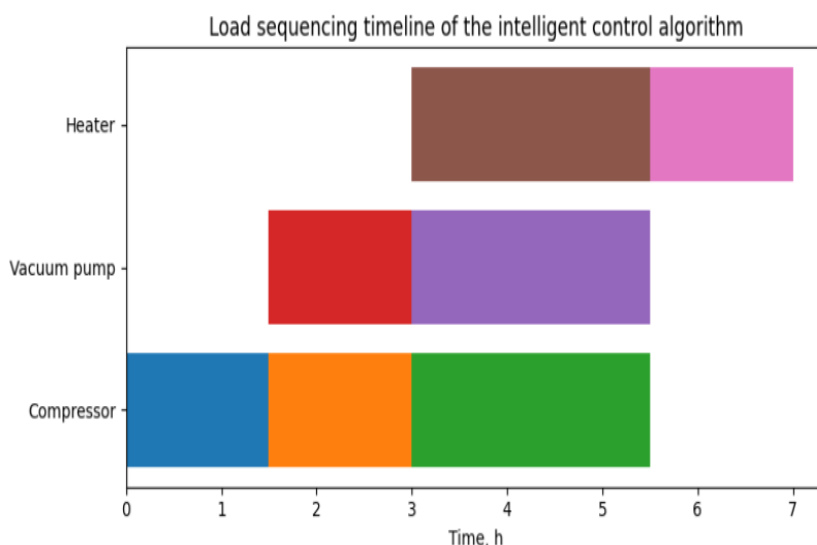


Fig. 12. Time Diagram of Sequential Load Control of the Intelligent Vacuum Freeze-Drying Unit

The middle row of the diagram corresponds to the vacuum pump. The red color (1.5–3.0 h) indicates the stage of vacuum creation in the chamber, while the purple color (3.0–5.5 h) represents maintaining stable pressure during the main sublimation process. The upper row shows the heating system. The brown color (3.0–5.5 h) corresponds to heat supply to the product during the main stage of vacuum freeze-drying, while the pink color (5.5–7.0 h) reflects the final drying stage. The diagram demonstrates the step-by-step activation of actuating mechanisms in accordance with the PLC algorithm logic 0–1.5 h-the refrigeration system operates; 1.5–3.0 h-the compressor and vacuum pump operate simultaneously, 3.0–5.5 h-the heating system is additionally activated; 5.5–7.0 h-final drying is performed with the vacuum pump switched off.

The presented time diagram confirms the correct implementation of the sequential load control principle, which ensures limitation of electrical power consumption and stable operation of the vacuum freeze-drying unit powered from a single-phase 220 V supply network.

Discussion of Results.

The results of vacuum freeze-drying of goat milk obtained during experimental studies on a unit equipped with an inverter compressor and sequential control of electrical loads are explained by the influence of the selected temperature-vacuum operating modes and the design features of the installation. The temperature and vacuum parameters at the main sublimation stage remain stable due to the implementation of a sequential load control algorithm. Maintaining the condenser surface temperature within the range of –46 to –48 °C ensured efficient vapor capture and prevented pressure increase in the vacuum chamber. High values of the relative moisture content difference $\Delta w_{c,rel} > 95\%$ indicate deep dehydration of the product. Unlike conventional systems requiring a three-phase 380 V power supply, the proposed unit ensures stable operation from a single phase 220 V network due to the integration of an inverter compressor and a sequential control algorithm for energy-intensive units.

Prospects for further research are associated with expanding the experimental database, developing a mathematical model of the process, and adapting the control algorithm to various types of food raw materials. Overall, the results confirm the scientific validity and practical feasibility of the proposed freeze-drying (lyophilization) unit. Explanation of the obtained results. The stability of temperature and vacuum parameters during the primary sublimation stage (Figures 4–7, Table 1) is ensured by the coordinated operation of the refrigeration system, vacuum pump, and heating system, implemented through a sequential load control algorithm (Figure 11). Maintaining the condenser surface temperature within the range of –46 to –48 °C (Figure 5) ensured effective capture of sublimated moisture vapors and prevented pressure increase in the vacuum chamber, which is confirmed by the pressure data p_2 presented in Table 1 and Figure 6.

The intensive reduction in product mass and moisture content during the primary sublimation stage (Figures 8 and 9) is explained by the realization of the direct phase transition “ice-vapor” while maintaining the product temperature below the ice melting point and pressure corresponding to the stable sublimation region. During the secondary drying stage, the decrease in moisture content slows down, which is associated with the removal of bound moisture and a reduction in mass transfer intensity, consistent with classical concepts of vacuum freeze-drying kinetics.

High values of the relative moisture content difference $\Delta w_{c,rel}$ (Table 4), exceeding 95 %, indicate deep dehydration of the product while maintaining the stability of the technological regime, which confirms the correctness of the selected parameters for controlling thermal and vacuum flows. Comparison with existing studies and features of the proposed approach. The obtained results are consistent with the data presented in studies, which demonstrate the high efficiency of vacuum freeze-drying in terms of preserving food product quality. At the same time, most known studies employ installations with high installed power and three-phase 380 V power supply, which significantly limits their application in small and medium-scale production conditions.

In contrast to the solutions described in studies [Chen et al., 2024], where inverter compressors are mainly considered as components of refrigeration systems without accounting for the overall energy structure of the installation, the present study implements an integrated approach combining an inverter compressor with a sequential control algorithm for all energy-intensive units. This made it possible to ensure stable operation of the installation when powered from a single-phase 220 V electrical network without the occurrence of peak loads, which fundamentally distinguishes the proposed technical solution from conventional vacuum freeze-drying systems.

Additionally, unlike certain studies [Lozano et al., 2014: 703–707], where sequential load control is analyzed in a fragmented manner, this work demonstrates its systemic influence on the thermal, vacuum, and energy balance of the installation under increased product loading up to 45–50 kg.

Research Limitations. It should be noted that the results of this study were obtained using a laboratory-scale installation and during the drying of only one type of product-goat milk. The applicability range of the obtained data is limited by a loading capacity of up to 45–50 kg, a heating temperature range of up to 60 °C, and operating conditions powered by a single-phase 220 V electrical supply. In addition, the experimental studies were conducted under controlled laboratory conditions, which ensured high reproducibility of the results; however, they do not account for possible fluctuations in environmental parameters and power supply quality that are typical of real industrial facilities.

Study limitations and ways to overcome them. The shortcomings of the present study include the limited number of experimental series and the absence of an analysis of the influence of the composition and structure of other types of food raw materials on the efficiency of the freeze-drying process. Furthermore, the study did not address issues related to system scaling or the long-term reliability of the installation during continuous operation.

The identified limitations can be overcome by expanding the experimental database, incorporating various types of products (meat, berries, and plant-based raw materials) into the research, and conducting long-term endurance testing of the installation under conditions close to industrial operation.

Future research development is associated with the creation of a mathematical model of the vacuum freeze-drying process that considers the dynamic redistribution of electrical loads and heat flows. Particular interest lies in adapting the control algorithm to different product types and drying modes, as well as implementing predictive and adaptive control elements based on machine learning methods. Potential challenges in further studies include the complexity of heat and mass transfer processes under varying vacuum conditions, as well as the increasing volume of experimental data requiring statistical processing and validation.

Overall, the obtained results confirm the scientific validity and practical potential of the proposed intelligent vacuum freeze-drying installation, especially for applications in conditions of limited electrical infrastructure and single-phase 220 V power supply.

Use of Artificial Intelligence Tools

During the preparation of this manuscript, the authors used the ChatGPT language model (OpenAI, USA) to assist in language editing, text structuring, and improvement of academic style. The artificial intelligence tool was used only to support the writing process and did not participate in the research design, data collection, experimental procedures, data analysis, or interpretation of results. All scientific content, experimental data, analysis, and conclusions were developed and verified by the authors. The authors take full responsibility for the accuracy, originality, and integrity of the manuscript.

Conclusion.

An intelligent freeze-drying installation with an inverter compressor has been developed and experimentally validated. The installation provides drying of products with a mass of up to 45-50 kg and ensures stable temperature-vacuum operating conditions when powered from a single-phase 220 V electrical network.

A sequential control algorithm for energy-intensive system components has been implemented, allowing the peak power consumption to be limited to 6.5 kW, which has been experimentally confirmed.

It has been established that, with increased product loading during the primary sublimation stage, the pressure in the vacuum chamber stabilizes within the range of 45–55 Pa, while the condenser temperature is maintained at 46 to 48 °C.

The main thermal, vacuum, and mass transfer parameters of the vacuum freeze-drying process, ensuring stable realization of the direct phase transition “ice-vapor” have been determined.

Experimental drying of goat milk demonstrated a final moisture content of 1.8–4.2 % and a relative moisture removal efficiency exceeding 95 %, confirming the high efficiency of the process.

Comparative analysis showed that the developed installation has lower installed power and energy consumption compared to conventional three-phase systems and can operate from a single-phase 220 V power supply.

The obtained results confirm the feasibility of applying the intelligent vacuum freeze-drying installation under conditions of limited electrical infrastructure typical for small and medium-scale production facilities.

REFERENCES

- Abascal K., Ganora L., and Yarnell E. (2005). “The effect of freeze-drying and its implications for botanical medicine: A review,” Aug. 2005. Doi:10.1002/ptr.1651.
- Alfat S. and Purqon A. (2017). Heat and Mass Transfer Model in Freeze-Dried Medium, in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Aug. 2017. Doi: 10.1088/1742-6596/877/1/012061.
- Buana I. et al. (2025). Enhancing evaporation in vacuum freeze drying: Optimizing airflow in horizontally-connected chambers //Case Studies in Thermal Engineering. 2025. T. 75. P. 106930. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106930>.
- Ben A.E. et al. (2025). Review of the Mechanisms, Pros and Cons of Some Drying Technologies Applicable to Agricultural Food Products’ Processing //Journal of Food Process Engineering. 2025. T. 48. №. 6. P. e70163. <https://doi.org/10.1111/jfpe.70163>
- Bayana D., İçier F. (2024). Effects of process conditions on drying of tomato pomace in a novel daylight simulated photovoltaic-assisted drying system //Food and Bioprocess Technology. 2024. T. 17. №. 12. Pp. 5000–5022. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03411-2>.
- Bano G., De-Luca R., Tomba E., Marcelli A., Bezze F., and Barolo M. (2020). “Primary Drying Optimization in Pharmaceutical Freeze-Drying: A Multivalt Stochastic Modeling Framework,” *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 59. No. 11. Pp. 5056–5071, Mar. 2020, doi: 10.1021/acs.iecr.9b06402.
- Ciurzyńska A. and Lenart A. (2011). Freeze-drying - application in food processing and biotechnology - a review, 2011, *Polish Academy Sciences*. Doi: 10.2478/v10222-011-0017-5.
- Chen A. et al. (2024). “Radio Frequency Vacuum Drying Study on the Drying Characteristics and Quality of Cistanche Slices and Analysis of Heating Uniformity,” *Foods*. Vol. 13. No. 17. Sep. 2024, Doi: 10.3390/foods13172672.
- Chupawa P., Gaewsondee T., Duangkhamchan W. (2021). Drying characteristics and quality attributes affected by a fluidized-bed drying assisted with swirling compressed-air for preparing instant red jasmine rice //Processes. 2021. T. 9. №. 10. P. 1738. <https://doi.org/10.3390/pr9101738>
- Fang Z. et al. (2026). Study on superheat control methods for refrigerant direct cooling thermal management systems of electric vehicle power batteries //Applied Thermal Engineering. 2026. P. 131545. 10.1016/j.applthermaleng.2026.131545
- Jameel F. et al. (2021). Recommended Best Practices for Lyophilization Validation—2021 Part I: Process Design and Modeling, *AAPS Pharm-SciTech*. Vol. 22. No. 7. Aug. 2021, doi: 10.1208/s12249-021-02086-8.
- Lozano B., Castellote A.I., Montes R., and López-Sabater M.C. (2014). “Vitamins, fatty acids, and antioxidant capacity stability during storage of freeze-dried human milk,” *Int. J. Food Sci. Nutr.* Vol. 65. No. 6. Pp. 703–707. 2014, Doi: 10.3109/09637486.2014.917154.
- Liu Y., Tian Y., He Y. (2024). Exploratory testing of energy-saving characteristics of large-scale freeze-drying equipment //Energies. 2024. T. 17. №. 4. P. 884. <https://doi.org/10.3390/en17040884>
- Lazarin R.A. et al. (2023). Drying kinetic and bioactive compounds of okara dried in microwave-assisted rotating-pulsed fluidized bed dryer //Food and Bioprocess Technology. 2023. T. 16. №. 3. Pp. 565–575. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02955-5>
- Li G., Wang Q., Zhou H. (2023). Research on the application of vacuum freeze-drying technology for food //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. T. 370.P. 01004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337001004>.
- Ilić M.D., Allen E.H., Chapman J.W., King C.A., Lang J.H. and Litvinov E. (2005). “Preventing future blackouts by means of enhanced electric power systems control. From complexity to order,” in *Proceedings of the IEEE*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2005. Pp. 1920–1940. doi: 10.1109/IPROC.2005.857496.
- Liliana S.-C., Diana P. V.-M., and Alfredo A.A. (2015). “Structural, physical, functional and nutraceutical changes of freeze-dried fruit,” *Afr. J. Biotechnol.* Vol. 14. No. 6. Pp. 442–450, Feb. 2015, Doi: 10.5897/ajb2014.14189.
- Morikawa T., Takada N., and Miura M. (2017). “Effect of decompression drying treatment on physical properties of solid foods // *Biosci. Bio-technol. Biochem.* Vol. 81. No. 4. Pp. 831–838, 2017, Doi:10.1080/09168451.2017.1281728
- Nikiforidis G., Van de Sanden M.C.M., and Tsampas M.N. (2019). High and intermediate temperature sodium-sulfur batteries for energy storage: development, challenges and perspectives, 2019 // *Royal Society of Chemistry*. doi: 10.1039/c8ra08658c.
- Nst B. C. et al. (2025). Analysis Energy of Freeze Vacuum Drying System with Thermal Energy Storage and Reverse Valve of 4kg Capacity // Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-science and engineering. 2025. T. 69. №. 3. Pp. 178–183. <http://dx.doi.org/10.36842/jomase.v69i3.541>.
- Oztuna Taner O. (2024). Vacuum freeze dryer technology for extending the shelf life of food and protecting the environment: a scenario study of the energy efficiency //Environmental Science and Pollution Research. 2024. T. 31. №. 27. Pp. 38573–38584. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30398-8>.
- Ratti C. (2001). “Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review,” 2001. *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/S0260-8774(00)00228-4.
- Ruiz-Rodriguez A., Marín F.R., Ocaña A., and Soler-Rivas C. (2008). Effect of domestic processing on bioactive compounds, 2008, *Springer Netherlands*. Doi:10.1007/s11101-007-9073-1.
- Stetzer O., Baschek B., Lüönd F., and Lohmann U. (2008). The Zurich Ice Nucleation Chamber (ZINC) - A new instrument to investigate atmospheric ice formation // *Aerosol Science and Technology*. Vol. 42. No. 1. Pp. 64–74. Jan. 2008. Doi: 10.1080/02786820701787944.
- Sapakov A., et al. (2024). Influence of Technological Parameters on the Temperature-Time Modes of Vacuum Freeze-Drying of the Product // *Izdenister Natizheler*. 2024;(4):414–422. <https://doi.org/10.37884/4-2024/43>.
- Sun Z. et al. (2025). Recent advances in heat pump drying system for the food industry: structure, system optimization, applications, and prospects // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2025. T. 24. №. 4. P. e70238. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70238>.

Prosapio V., Norton I., and De Marco I. (2017). "Optimization of freeze-drying using a Life Cycle Assessment approach: Strawberries' case study," *J. Clean. Prod.*, Vol. 168. Pp. 1171–1179. Dec. 2017. Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.09.125.

Wang N., Wang D., Krook-Riekkola A., and Ji X. (2023). MEA-based CO₂ capture: a study focuses on MEA concentrations and process parameters, *Front. Energy Res.* Vol. 11. 2023, doi: 10.3389/fenrg.2023.1230743.

Wang Y., Zhao H., Kong D. (2026). Experimental study on the performance of a two-stage heat pump drying system coupled with rotary dehumidification and total heat recovery // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2026. P. 108279. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2026.108279>.

Zhang F. et al. (2023). Nondestructive monitoring of freeze drying and spray freeze drying endpoint by temperature-pressure method // *Drying Technology*. 2023. T. 41. №. 16. Pp. 2679–2687. <https://doi.org/10.1080/07373937.2023.2240407>.

Zhang L.Z. et al. (2022). Optimization of a variable-temperature heat pump drying process of shiitake mushrooms using response surface methodology // *Renewable Energy*. 2022. T. 198. Pp. 1267–1278. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.094>.

Authors' contributions

Askar Zamanbekovich Sapakov – Data curation; Formal analysis; Roles/Writing – original draft; and Writing – review& editing.

Saya Zamanbekovna Sapakova – Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing – original draft; and Writing – review&editing.

Assel Rakhmetullakzy Karassayeva – Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Roles/Writing – original draft; and Writing – review&editing



B.D. Sarbalina, A.N. Urazgalieva, A.A. Taskairova*

West Kazakhstan Agrarian-Technical University named after Zhangir Khan, Oral, Kazakhstan.

E-mail: a_aina_t@mail.ru

METHODS FOR TESTING SHEEP MANURE FOR MOISTURE

Sarbalina Bibigul Dzheksenbaevna, candidate of Technical Sciences, NJSC «West Kazakhstan Agrarian-Technical University named after Zhangir Khan», Uralsk, st. Zhangir Khana 51, 0900009, Kazakhstan

E-mail: Rumasa79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3762-8873>;

Urazgalieva Akmaral Niyazovna, senior lecturer, master, NJSC «West Kazakhstan Agrarian-Technical University named after Zhangir Khan», Uralsk, st. Zhangir Khana 51, 0900009, Kazakhstan

E-mail: urazgalieva.akmaral@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0891-8986>;

Taskairova Aina Alikhanovna, lecturer, master, NJSC «West Kazakhstan Agrarian-Technical University named after Zhangir Khan», Uralsk, st. Zhangir Khana 51, 0900009, Kazakhstan

E-mail: a_aina_t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8425-7721>.

Abstract. The article is devoted to the study of the physical and mechanical properties of bedding sheep manure as a promising organic fertilizer. The relevance of the research is обусловлена the need to improve the efficiency of using livestock waste and to optimize agrotechnical processes in agriculture. Particular attention is paid to moisture content, which significantly affects the nutritional value, storage conditions, transportation, and efficiency of manure application to the soil. The study aims to determine the moisture content of bedding sheep manure and to analyze its variation depending on seasonal conditions. To achieve this goal, manure samples were collected at different time periods and subjected to laboratory testing. The research methods are based on a standard procedure of drying samples to constant mass at a temperature of $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, followed by the calculation of moisture content using an established formula. The experiments were carried out under laboratory conditions using a drying oven and analytical balances. In total, three series of samples collected in January, February, and March were analyzed. The main results showed that the moisture content of manure varied from 62.37 % in January to 55.65 % in March. A steady decrease in moisture content during the winter–spring period was observed, which can be explained by changes in temperature and improved air circulation. In addition, a uniform distribution of moisture within the manure mass was identified. In conclusion, moisture control is an important factor in increasing the efficiency of sheep manure utilization. The obtained results can be used to optimize the storage, transportation, and application of organic fertilizers in agriculture.

Keywords: determination of humidity, bedding, sheep manure, microorganism, nutrients, fertilizers, physical and mechanical properties, tests

For citation: Sarbalina B.D., Urazgalieva A.N., Taskairova A.A. (2026). Methods for testing sheep litter maunce for moisture // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Vol. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 247–259. <https://doi.org/10.37884/3-2026/20> [In Russ.].

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

Acknowledgment: The authors express their deep gratitude to the editorial board of the journal for their assistance in organizing the publication of the article. We would also like to thank the administration of the Polytechnic Institute for its support in conducting the experimental research.

Б.Д. Сарбалина, А.Н. Уразгалиева, А.А. Таскайрова*

Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан.

E-mail: a_aina_t@mail.ru

ҚОЙДЫҢ ТӨСЕНІШТІ КӨҢІНІҢ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ БОЙЫНША СЫНАҚ ЖҮРГІЗУ ӘДІСТЕМЕСІ

Сарбалина Бибигүл Джексенбайқызы, техникалық ғылымдар кандидаты, КЕАҚ «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті», Орал, Жәңгір хан көш., 51, 090009, Қазақстан

E-mail: Rumasa79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3762-8873>;

Уразғалиева Ақмарал Ниязқызы, аға оқытушы, магистр, КЕАҚ «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті», Орал, Жәңгір хан көш., 51, 090009, Қазақстан

E-mail: urazgalieva.akmaral@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0891-8986>;

Таскаирова Айна Алиханқызы, оқытушы, магистр, КЕАҚ «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті», Орал, Жәңгір хан көш., 51, 090009, Қазақстан

E-mail: a_aina_t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8425-7721>.

Аннотация. Мақалада органикалық тыңайтқыш ретінде перспективалы болып табылатын төсенішті қой қиының физика-механикалық қасиеттері зерттеледі. Зерттеудің өзектілігі мал шаруашылығы қалдықтарын тиімді пайдалану қажеттілігімен және ауыл шаруашылығындағы агротехникалық процестерді оңтайландырумен негізделеді. Ерекше назар тыңайтқыштың қоректік құндылығына, сақтау жағдайына, тасымалдауға және топыраққа енгізу тиімділігіне елеулі әсер ететін ылғалдылық көрсеткішіне аударылған. Зерттеудің мақсаты – төсенішті қой қиының ылғалдылығын анықтау және оның маусымдық жағдайларға байланысты өзгеруін талдау. Қойылған мақсатқа жету үшін әртүрлі уақыт кезеңдерінде қи үлгілері алынып, зертханалық сынақтар жүргізілді. Зерттеу әдістері үлгілерді (105 ± 2) °C температурада тұрақты массаға дейін кептірудің стандартты әдісіне және кейін ылғалдылықты арнайы формула бойынша есептеуге негізделген. Зерттеулер арнайы зертхана жағдайында кептіру шкафы мен зертханалық таразыларды қолдану арқылы жүргізілді. Барлығы қаңтар, ақпан және наурыз айларында алынған үш сериялы үлгі талданды. Негізгі нәтижелер қи ылғалдылығының қаңтарда 62,37 %-дан наурызда 55,65 %-ға дейін өзгеретінін көрсетті. Қыс-көктем кезеңінде ылғалдылықтың біртіндеп төмендеу үрдісі анықталды, бұл температураның өзгеруімен және ауа алмасудың жақсаруымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, қи массасында ылғалдың біркелкі таралуы байқалды. Қорытындыда ылғалдылықты бақылау қой қиының тиімді пайдаланылуын арттырудың маңызды факторы екені атап өтілді. Алынған нәтижелер органикалық тыңайтқыштарды сақтау, тасымалдау және қолдану процестерін оңтайландыруда пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: ылғалдықты анықтау, төсенішті, қой көңі, микроорганизм, қоректік заттар, тыңайтқыштар, физикалық-механикалық қасиеттері, сынақтар

Дәйексөз үшін: Сарбалина Б.Д., Уразғалиева А.Н., Таскаирова А.А. (2026). Қойдың төсенішті көңінің ылғалдылығын анықтау бойынша сынақ жүргізу әдістемесі // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 247–259. <https://doi.org/10.37884/3-2026/20> [In Russ.].

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

Алғыс: авторлар мақаланы жариялауды ұйымдастыруға көрсеткен көмегі үшін журнал редакциясына өз алғыстарын білдіреді. Сонымен қатар, эксперименттік зерттеулер жүргізуге қолдау көрсеткен политехникалық институттың басшылығына да алғысымызды білдіреміз.

Б.Д. Сарбалина, А.Н. Уразғалиева, А.А. Таскаирова*

НАО Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан.

E-mail: a_aina_t@mail.ru

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПОДСТИЛОЧНОГО ОВЕЧЬЕГО НАВОЗА НА ВЛАЖНОСТЬ

Сарбалина Бибигүл Джексенбаевна, кандидат технических наук, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана», Уральск, ул. Жангир хана, 51, 0900009, Казахстан

E-mail: Rumasa79@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3762-8873>;

Уразғалиева Акмарал Ниязовна, старший преподаватель, магистр, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана», Уральск, ул. Жангир хана, 51, 0900009, Казахстан

E-mail: urazgalieva.akmaral@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0891-8986>;

Таскаирова Айна Алихановна, преподаватель, магистр, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана», Уральск, ул. Жангир хана, 51, 0900009, Казахстан

E-mail: a_aina_t@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8425-7721>.

Аннотация. Статья посвящена исследованию физико-механических свойств подстилочного овечьего навоза как перспективного органического удобрения. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности использования органических отходов животноводства и оптимизации агротехнических процессов в сельском хозяйстве. Особое внимание уделено показателю влажности, который оказывает существенное влияние на питательную ценность, условия хранения, транспортировку и эффективность внесения навоза в почву. Целью исследования является определение влажности подстилочного овечьего навоза и анализ её изменения в зависимости от сезонных условий. Для достижения поставленной цели были отобраны образцы навоза в различные периоды времени и проведены лабораторные испытания. Методы исследования основаны на стандартной методике высушивания проб до постоянной массы при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ с последующим расчетом влажности по установленной формуле. Исследования проводились с использованием сушильного шкафа и лабораторных весов в условиях специализированной лаборатории. Всего было проанализировано три серии проб, отобранных в январе, феврале и марте. Основные результаты показали, что влажность навоза варьируется в пределах от 62,37 % в январе до 55,65 % в марте. Установлена устойчивая тенденция к снижению влажности в течение зимне-весеннего периода, что связано с изменением температурных условий и улучшением воздухообмена. Также выявлена равномерность распределения влаги в массе навоза. В выводах отмечено, что контроль влажности является важным фактором повышения эффективности использования овечьего навоза. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации процессов хранения, транспортировки и внесения органических удобрений в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: определение влажности, подстилочный, овечий навоз, микроорганизм, питательные вещества, удобрения, физико-механические свойства, испытания

Для цитирования: Сарбалина Б.Д., Уразғалиева А.Н., Таскаирова А.А. (2026). Методика проведения испытаний подстилочного овечьего навоза на влажность // Research, results – Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты. Т. 28. Is. 3. Number 111. Pp. 247–259. <https://doi.org/10.37884/3-2026/20> [In Russ.].

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность: авторы выражают глубокую благодарность редакции журнала за помощь в организации публикации статьи. Мы также хотели бы поблагодарить руководство политехнического института за помощь в проведении экспериментальных исследований.

Введение.

Овечий помёт относится к теплым видам удобрений. При разложении выделяется большое количество тепла. Это происходит со всеми видами удобрений, которые содержат мало воды, но много органических веществ. Коровяк и свиной навоз в этом отношении намного слабее. Они дольше гниют в почве, поэтому происходит большая потеря питательных веществ. Помёт мелкого рогатого скота используется для утепления грядок весной, в теплице и в открытом грунте. Ни один вид удобрений не обладает таким эффектом. Однако необходимо, чтобы корни растения не соприкасались с угольным слоем, так как газы могут полностью уничтожить растения.

Низкое количество воды делает использование овечьего навоза более экономичным. Для этого требуется меньше банок на квадратный метр, чем для того же коровяка или свиного помёта. Однако перед применением овечьего навоза в качестве удобрения необходимо провести его тщательную оценку по ряду показателей, включая влажность. Влажность навоза является ключевым параметром, поскольку она влияет на его питательные свойства, срок хранения и удобство использования. Овечий навоз с высокой влажностью может быть труден в применении, а также может подвергаться процессам

разложения и потерям полезных веществ [Ivanov et al., 2018: 352.; Kuznetsov, 2020: 254].

Козий и овечий помет пригоден для всех овощных и ягодных культур. Его особенно любят растения, которым для роста требуется много азота – картофель, помидоры, дыни. Овечий навоз – концентрированное удобрение, поэтому его необходимо использовать правильно и избегать передозировки. На песчаных почвах эффект сохраняется до 2–3 лет, а на глинистых – до 5 лет. Исходное содержание гумифицированного гумуса в смеси с фекалиями, мочой и бычьим калом составляет 83–84, 94,8–95,0 и 86–87 % у свиней, 76–78, 94–95 и 87–88 % у овец, 67–69, 94–95 и 87–88 % соответственно. Плотность удобрения варьируется от 400 до 1020 кг/м³ и зависит от многих факторов, таких как плотность удобрения, влажность, количество и качество подстилочного материала, размер частиц удобрения и прочность фракции [Nikolaev et al., 2019: 180.; Melnikov, 2021: 150].

Общеизвестно, что коровий навоз традиционно считается одним из наиболее питательных органических удобрений. Однако овечий и конский навоз превосходят его по содержанию органических веществ и концентрации питательных элементов. В современных условиях овечий навоз приобретает особую актуальность, поскольку в животноводческих хозяйствах наблюдается активное развитие овцеводства, ориентированного на производство мяса и шерсти. Это делает овечий навоз более доступным по сравнению с конским. Для получения высоких урожаев необходимо поддерживать биологическую активность почвы, что невозможно без достаточного количества органических веществ. Органика служит источником питания для почвенной микрофлоры, бактерии перерабатывают растительные остатки, используют воду и в процессе жизнедеятельности способствуют обогащению почвы. Недостаток органического питания приводит к снижению активности микробиоты и, как следствие, уменьшению урожайности [State Agricultural Research Institute, 2018: 127–139.; Smirnov, 2020: 350].

По данным агрономов и опытных садоводов, применение овечьего навоза способствует накоплению гумуса и улучшению плодородия почвы. Гумус содержит гуминовые кислоты, с которыми в корневую зону поступают важнейшие элементы питания – калий и фосфор [Kirilova et al., 2019: 290; Fedorov, 2018: 310; Shumakov, 2021: 180]. В овечьем навозе воды почти нет, всего 65 %. Для сравнения, в коровяке и свинине – до 80 %. Органического вещества в каждом из них также на 33 % больше. Самое высокое содержание азота – 0,8 %, калия – 0,7 %. Минимальное содержание фосфора – 0,2 %. Однако не все удобрения содержат очень мало фосфора, поэтому для сбалансированного питания растений его добавляют в виде суперфосфата, фосфорного порошка [Rakhmatullina et al., 2022: 250.; Grigoriev, 2020: 170]. Когда овечий навоз используется в свежем виде, азотфиксирующие микроорганизмы в почве начинают его перерабатывать. При этом выделяется газообразный метан – продукт их жизнедеятельности, опасный для корневой системы. Это нежелательный элемент при удобрении грядок свежим овечьим навозом [Zvereva et al., 2020: 220].

Дополнительно следует подчеркнуть, что эффективность использования овечьего навоза в значительной степени зависит от способа его предварительной подготовки перед внесением в почву. Наиболее распространёнными являются компостирование, выдерживание в буртах и смешивание с другими органическими остатками, такими как солома, растительные отходы и опилки. Эти методы позволяют снизить содержание активных аммиачных соединений, стабилизировать структуру органического вещества и уменьшить риск негативного воздействия на растения в начальный период внесения.

Особое значение имеет процесс компостирования, в ходе которого под воздействием аэробной микрофлоры происходит постепенное разложение органических соединений с образованием более стабильных гумусоподобных веществ. При этом значительно снижается патогенная нагрузка и улучшаются агрохимические свойства конечного продукта.

Правильно подготовленный компост на основе овечьего навоза отличается более равномерной структурой, меньшей влажностью и повышенной доступностью питательных элементов для растений.

Кроме того, важно учитывать экологический аспект применения овечьего навоза. Его рациональное использование способствует утилизации органических отходов животноводства и снижению нагрузки на окружающую среду. При неправильном хранении и внесении возможны выбросы парниковых газов, таких как метан и закись азота, что делает необходимым соблюдение технологических регламентов обращения с органическими удобрениями.

Таким образом, овечий навоз представляет собой ценный ресурс, однако его агрономическая эффективность напрямую зависит от условий обработки, хранения и внесения, что требует комплексного научно обоснованного подхода.

Целью исследований является определение физико-механических свойств подстилочного овечьего навоза в ТОО «A-la-Terre» по объекту «Частное хозяйство «Оргу» на 80 овец, по адресу: Каменский р-н, п. Родник». В рамках данной цели также предполагается комплексная оценка качества органического сырья с учётом его влажности, однородности структуры и сезонных изменений показателей. Дополнительно рассматривается влияние условий содержания животных и хранения навоза на его физико-механические характеристики. Особое внимание уделяется анализу пригодности полученного органического материала для дальнейшего использования в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Полученные результаты позволяют обосновать рациональные способы сбора, хранения и применения подстилочного навоза, а также способствуют повышению эффективности агротехнических мероприятий и улучшению плодородия почв в условиях хозяйства. Дополнительно следует отметить, что в рамках поставленной цели исследования рассматривается не только текущая характеристика подстилочного овечьего навоза, но и возможность прогнозирования изменения его физико-механических свойств в зависимости от технологических условий обращения. Это включает анализ потенциальных потерь органического вещества при различных способах хранения, а также оценку влияния степени аэрации и плотности укладки на сохранность питательных компонентов. Такой подход позволяет сформировать более полное представление о динамике изменения качества органического сырья во времени.

Важным аспектом исследования является также учет санитарно-гигиенических требований при обращении с навозом, поскольку его физико-механические свойства напрямую связаны с условиями микробиологической активности и возможным развитием патогенной микрофлоры. Это имеет значение как для безопасности сельскохозяйственного производства, так и для экологической устойчивости агроэкосистем.

Кроме того, результаты исследования могут быть использованы при разработке рекомендаций по оптимизации доз внесения органических удобрений в почву с учетом их реального качества и влажности. Это позволяет повысить точность агротехнических расчетов и снизить риск избыточного или недостаточного внесения питательных веществ.

Таким образом, поставленная цель исследования имеет не только теоретическое, но и выраженное практическое значение для повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Материалы и методы исследований.

Для решения поставленной задачи предлагается технология определения влажности из разных участков на приборе в лаборатории ТОО «A-la-Terre».

Всего отобрано и представлено в лабораторию ТОО «A-la-Terre»– 3 пробы подстилочного навоза. На отобранные пробы составлена сопроводительная ведомость в лабораторию ТОО «A-la-Terre». Лабораторные работы выполнены в соответствии с требованиями действующих ГОСТ и методик в испытательной лаборатории ТОО «A-la-Terre» [Testing Laboratory of LLP, 2023].

Лабораторные работы выполнены в соответствии с требованиями действующих НД в испытательной лаборатории ТОО «A-la-Terre».

Оборудования, которые использовались для проведения исследований:

- Сушильный шкаф;
- Лабораторные весы по ГОСТ 24104;
- Металлические и стеклянные бюксы по ГОСТ 25336;
- Шпатель по ГОСТ 10778.

Всего выполнено: 3 анализов физических свойств навоза. Испытания на определение влажности навоза методом высушивания до постоянной массы было проведено по ГОСТ 5180-2015 пункт 5. Пробу навоза для определения влажности отобрали 15-50г, поместили в заранее взвешенный и пронумерованный бюкс и плотно закрыли крышкой. При отборе пробы из образца нарушенной структуры навоз мы тщательно перемешали, чтобы влажность распределилась по образцу равномерно. При отборе пробы на влажность мы удалили все видимые включения (рис. 1).



Рис. 1. Процесс проведения испытания
[Fig. 1. Testing Procedure]

Испытания по определению влажности овечьего подстилочного навоза проводились в соответствии с методикой высушивания до постоянной массы. Работы выполнены в лабораторных условиях с использованием сушильного шкафа и лабораторных весов. Пробы навоза массой 15–50 г помещали в заранее взвешенные и пронумерованные бюксы. Бюксы с навозом загружали в предварительно нагретый сушильный шкаф и выдерживали при температуре $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ до достижения постоянной массы.

После завершения сушки бюксы извлекали, охлаждали до комнатной температуры в эксикаторе и вновь взвешивали.

Полученные данные по массам использовались для расчета влажности w , %, навоза по соответствующей формуле:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1}$$

где m_1 – масса пустого бюкса, гр;

m_2 – масса бюкса с навозом, гр;

m_3 – масса бюкса с высушенным навозом, гр.

Суть метода заключается в измерении потери массы пробы в результате испарения воды. Масса навоза до высушивания определяется как разность между массой бюкса с влажным навозом (m_2) и массой пустого бюкса (m_1). После сушки проба снова взвешивается (m_3), и разность между массой до и после сушки указывает на количество испарившейся влаги. Таким образом, влажность рассчитывается как отношение массы испарившейся воды к массе исходного навоза до сушки. Это позволяет точно оценить содержание воды в пробе. Анализ влажности навоза имеет практическое значение. Высокая влажность свидетельствует о значительном содержании воды, что увеличивает массу материала, снижает его питательную концентрацию и затрудняет хранение и транспортировку. В то же время, увлажненный навоз может быть полезен для улучшения влагоемкости почвы в засушливых условиях. Напротив, низкая влажность делает навоз легче и более удобным в обращении, но может свидетельствовать о частичном разрушении органических соединений и снижении активности полезной микрофлоры, что влияет на его агрономическую эффективность [Kovalenko, 2019: 248; Johnson et al., 2021: 415; United States Environmental Protection Agency, 2020: 235].

На результаты определения влажности могут влиять дополнительные факторы: температура и влажность воздуха при сушке, условия хранения проб, а также исходный тип навоза. Например, навоз, высушенный в естественных условиях, может сохранять более высокую остаточную влажность, чем тот, что был обработан в сушильном шкафу. Кроме того, разные виды навоза имеют различную начальную влажность, что также следует учитывать при сравнительном анализе [World Bank Group, 2018: 314.; ISO 11268-2:2019, 2019].

Дополнительно в рамках методики исследования учитывались особенности подготовки лабораторных образцов, поскольку корректность отбора и подготовки пробы напрямую влияет на точность получаемых результатов. Перед началом анализа все образцы подвергались первичной визуальной оценке с целью определения однородности структуры, наличия посторонних включений

и степени разложения органического материала. В случае обнаружения крупных механических включений (солома, камни, остатки подстилки) они удалялись вручную, чтобы исключить искажение результатов взвешивания и расчёта влажности.

Для повышения репрезентативности результатов отбор проб осуществлялся из разных слоёв навозной массы. Это позволило учесть возможную неоднородность распределения влаги по вертикали и получить более объективные данные о среднем содержании воды в исследуемом материале. Каждый слой навоза характеризовался различной степенью уплотнения и аэрации, что потенциально влияет на процессы испарения влаги и микробиологической активности.

В процессе лабораторных испытаний особое внимание уделялось стабильности температурного режима сушильного шкафа. Температура (105 ± 2) °C поддерживалась на постоянном уровне на протяжении всего периода сушки, что соответствует требованиям стандартной методики и обеспечивает полное удаление свободной и частично связанной влаги. Контроль температуры осуществлялся с использованием встроенного терморегулятора и периодической поверки показаний.

Продолжительность сушки образцов определялась до достижения постоянной массы, что фиксировалось путём последовательного взвешивания через определённые промежутки времени. Если разница между двумя последовательными измерениями не превышала допустимого значения погрешности, процесс сушки считался завершённым. Такой подход позволяет исключить влияние остаточной влаги и повысить точность определения влажности.

После завершения процесса высушивания бюксы с образцами помещались в эксикатор для охлаждения. Использование эксикатора предотвращает повторное поглощение влаги из окружающего воздуха, что особенно важно в условиях повышенной относительной влажности лабораторной среды. Только после полного охлаждения проводилось окончательное взвешивание сухого остатка.

Все измерения массы выполнялись на аналитических весах высокой точности, прошедших предварительную калибровку. Погрешность измерений учитывалась при обработке результатов. Для минимизации случайных ошибок каждое взвешивание выполнялось не менее двух раз, а при расхождении значений проводилось повторное измерение.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием стандартных математических методов статистического анализа. Для каждой серии проб рассчитывались средние значения влажности, а также оценивалась вариабельность показателей. Это позволило определить устойчивость полученных результатов и выявить возможные отклонения, связанные с внешними факторами.

Отдельное внимание в исследовании уделялось условиям хранения отобранных проб до момента проведения анализа. Образцы хранились в герметично закрытых контейнерах при стабильной температуре, что исключало потерю влаги и изменение физико-химических свойств материала. Время между отбором и анализом проб минимизировалось, чтобы снизить влияние процессов самопроизвольного разложения органического вещества.

Также в ходе исследования учитывались климатические условия периода отбора проб, включая среднесуточную температуру, относительную влажность воздуха и уровень вентиляции помещений, где содержались животные. Данные параметры фиксировались и использовались для последующего анализа зависимости влажности навоза от внешних факторов.

Сравнительный анализ результатов проводился между тремя временными периодами (январь, февраль и март), что позволило выявить сезонную динамику изменения влажности. Такой подход обеспечивает возможность оценки влияния климатических условий на физико-механические свойства подстилочного овечьего навоза.

Кроме того, при интерпретации результатов учитывались биологические процессы, протекающие в навозной массе. В частности, разложение органических веществ сопровождается выделением тепла, что может ускорять испарение влаги. Интенсивность этих процессов зависит от температуры окружающей среды, уровня аэрации и состава подстилочного материала.

Таким образом, применённая методика исследования обеспечивает комплексный подход к оценке влажности подстилочного овечьего навоза, сочетая лабораторные измерения, статистическую обработку данных и учет внешних факторов. Это позволяет получить достоверные и воспроизводимые результаты, которые могут быть использованы для дальнейших агрономических и технологических исследований.

Разработанный подход может быть рекомендован для применения в сельскохозяйственных лабораториях при оценке качества органических удобрений, а также при разработке технологий их

хранения, переработки и рационального использования в растениеводстве.

Дополнительно в рамках проведённого исследования особое внимание уделялось оценке воспроизводимости результатов лабораторных измерений, что является важным критерием достоверности полученных данных. Для этого каждая проба навоза анализировалась в трёх повторностях с последующим вычислением среднего значения и стандартного отклонения. Такой подход позволил минимизировать влияние случайных погрешностей, связанных с неоднородностью материала и возможными отклонениями в процессе взвешивания. Полученные значения демонстрировали удовлетворительную сходимость, что свидетельствует о корректности выбранной методики и стабильности лабораторных условий.

Важным этапом методики являлась также оценка возможной систематической погрешности измерений. Основными источниками таких погрешностей могли выступать неточности калибровки весового оборудования, колебания температуры в сушильном шкафу, а также различия в степени измельчения и перемешивания образцов. Для их минимизации проводилась предварительная проверка оборудования перед началом серии испытаний, а также регулярный контроль его технического состояния в процессе выполнения лабораторных работ. Особое внимание уделялось соблюдению единого протокола подготовки проб, что обеспечивало сопоставимость результатов между различными сериями измерений.

Отдельно рассматривался вопрос влияния времени хранения проб на их физико-механические свойства. Установлено, что при увеличении времени хранения даже в герметичных условиях возможно незначительное перераспределение влаги внутри образца за счёт диффузионных процессов. В связи с этим все пробы анализировались в максимально короткие сроки после отбора, что позволило зафиксировать их исходное состояние с минимальными изменениями. Данный подход особенно важен при работе с органическими материалами, склонными к биологической активности и самопроизвольным изменениям структуры.

В ходе исследования также проводилась оценка потенциального влияния степени разложения органического вещества на показатели влажности. Было отмечено, что более разложившийся навоз характеризуется иной водоудерживающей способностью по сравнению со свежим материалом. Это связано с изменением структуры органических волокон и увеличением доли гумусоподобных соединений, способных удерживать влагу. Таким образом, степень разложения следует рассматривать как дополнительный фактор, влияющий на результаты определения влажности и общую интерпретацию данных.

Методическая часть исследования была дополнена элементами сравнительного анализа с аналогичными работами, выполненными в других климатических зонах. Это позволило установить, что сезонная динамика влажности подстилочного навоза, выявленная в рамках данного исследования, соответствует общим закономерностям, описанным в научной литературе, однако имеет региональные особенности, связанные с условиями содержания животных и характеристиками подстилочного материала. В частности, в более холодных регионах наблюдается более выраженное накопление влаги в зимний период, тогда как в условиях умеренного климата процесс высушивания начинается раньше и протекает интенсивнее.

Для повышения объективности результатов использовался также метод визуально-структурной оценки образцов. Данный метод заключался в определении степени однородности навозной массы, наличия включений подстилочного материала и характера распределения влаги. Несмотря на субъективный характер данного метода, его применение позволило дополнительно охарактеризовать физическое состояние исследуемого материала и уточнить результаты лабораторных измерений.

Кроме того, в рамках исследования рассматривалась возможность внедрения инструментальных методов экспресс-оценки влажности, таких как использование портативных влагомеров. Сравнение их показаний с результатами классического метода высушивания показало допустимую степень расхождения, однако метод высушивания был признан более точным и предпочтительным для лабораторных исследований. Тем не менее, экспресс-методы могут быть рекомендованы для полевых условий, где требуется оперативная оценка состояния навоза.

Также была проведена оценка влияния степени уплотнения навозной массы на процесс испарения влаги. Установлено, что более плотные участки характеризуются замедленным испарением влаги из-за ограниченного доступа воздуха и сниженной аэрации. Это подтверждает необходимость тщательного перемешивания образцов перед отбором проб для лабораторного анализа, чтобы исключить влияние структурной неоднородности.

В целом, расширенная методическая схема исследования позволила не только определить количественные показатели влажности подстилочного овечьего навоза, но и выявить комплекс факторов, влияющих на формирование его физико-механических свойств. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования методик лабораторного анализа органических удобрений, а также для разработки практических рекомендаций по их рациональному использованию в сельскохозяйственном производстве.

Результаты и их обсуждение.

Формула для расчета влажности подстилочного навоза позволяет точно определить содержание воды в навозе. Эти данные могут быть полезны для определения степени его готовности к использованию как удобрение или для других сельскохозяйственных нужд.

В таблице 1 представлены результаты определения влажности грунта для трех различных периодов: января, февраля и марта месяцев.

Таблица 1 – Результаты определения влажности

Период	Толщина пласта	Масса пустого бьюкса - m_1 , г	Масса бьюкса с грунтом - m_2 , г	Масса бьюкса с высушенным грунтом - m_3 , г	Влажность, % $(m_2 - m_1) - (m_3 - m_1) / (m_2 - m_1) * 100$	Влажность,
Январь	9,7	18,72	40,23	26,99	65,55	62,37
		17,00	41,01	26,80	59,18	
Февраль	14,5	13,75	34,40	21,90	60,53	59,02
		16,00	38,61	25,61	57,50	
Март	23	19,00	40,31	28,51	55,37	55,65
		13,64	38,33	24,52	55,93	

В ходе лабораторных исследований, проведенных в испытательной лаборатории ТОО «А-Іа-Тегге», были проанализированы физико-механические свойства подстилочного овечьего навоза, в частности – его влажность. Для анализа было отобрано по две пробы навоза в каждый из исследуемых месяцев: январь, февраль и март. Из таблицы видно, что в январе были исследованы две пробы, взятые с пластов толщиной 9,7 см соответственно. Масса пустых бьюксов составила 18,72 г и 17,00 г, а массы бьюксов с навозом до и после высушивания составили:

- Проба 1: 40,23 г (влажный навоз), 26,99 г (высушенный);
- Проба 2: 41,01 г (влажный), 26,80 г (высушенный).

Рассчитанная влажность составила 65,55 % и 59,18 %, соответственно. Средняя влажность по январю – 62,37 %.

Январские пробы показали наивысшие значения влажности за весь период исследования. Это может быть связано с низкими температурами и высокой влажностью воздуха, что препятствует естественному испарению влаги из массы навоза. Более высокая влажность характерна для свежих подстилок, особенно при активном скоплении экскрементов и недостаточной вентиляции в зимний период.

Во втором периоде (февраль) были исследованы пробы с пластов толщиной 14,5 см. Масса пустых бьюксов – 13,75 г и 16,00, соответственно. Навоз имел следующие показатели:

- Проба 1: 34,40 г (влажный), 21,90 г (высушенный);
- Проба 2: 38,61 г (влажный), 25,61 г (высушенный).

Влажность составила 60,53 % и 57,50 %, соответственно. Средняя влажность – 59,02 %.

В феврале отмечается снижение влажности по сравнению с январем на 3,35 процентных пункта. Это может быть обусловлено постепенным снижением уровня относительной влажности в помещениях, где содержатся животные, а также улучшением воздухообмена при начавшемся прогреве воздуха. Также возможно, что часть навоза частично подсохла за счёт механического перемешивания или естественного уплотнения слоя.

В марте были исследованы образцы с толщиной слоя 23 см. Масса пустых бьюксов – 19,00 г и 13,64 г. Измеренные значения:

- Проба 1: 40,31 г (влажный), 28,51 г (высушенный);
- Проба 2: 38,33 г (влажный), 24,52 г (высушенный).

Рассчитанная влажность: 55,37 % и 55,93 %. Средняя влажность – 55,65 %.

В марте отмечается дальнейшее снижение влажности – на 3,37 п.п. по сравнению с февралем и на 6,72 п.п. по сравнению с январём. Это закономерно и может быть связано с более активным испарением влаги в конце зимы – начале весны, улучшением условий хранения и началом естественного разложения массы навоза с потерей влаги. Также следует отметить, что оба значения влажности в марте находятся практически на одном уровне, что говорит о стабилизации процессов и равномерности распределения влаги в массе навоза.

Для более наглядного представления динамики изменения влажности подстилочного овечьего навоза за исследуемый период, данные были отражены на графике. На графике отображена усреднённая влажность навоза по месяцам: январь, февраль и март. Визуализация позволяет отчетливо проследить тенденцию к снижению влажности от зимнего к весеннему периоду (рис. 2).



Рис. 2. Динамика усредненной влажности за январь-март
[Fig. 2. Dynamics of Average Humidity from January to March.]

На графике представлена динамика усреднённой влажности подстилочного овечьего навоза по месяцам: январь, февраль и март. Кривая чётко демонстрирует постепенное снижение влажности навоза в течение зимне-весеннего периода. В январе зафиксировано наивысшее значение влажности – 62,37 %, что обусловлено холодными температурными условиями, высокой относительной влажностью воздуха и слабой вентиляцией помещений, где накапливается навоз. В феврале уровень влажности снизился до 59,02 %, что может свидетельствовать о начале естественного испарения влаги и частичной активации микробиологических процессов в навозной массе. В марте наблюдается минимальный показатель влажности – 55,65 %, что связано с повышением температуры окружающей среды, улучшением воздухообмена, а также возможным перемешиванием и аэрацией подстилочного слоя, что способствует активному испарению влаги. График наглядно подтверждает обратную зависимость между временем (сезоном) и влажностью подстилочного навоза: с наступлением весны влажность постепенно снижается. Это визуальное представление позволяет глубже понять характер изменения физико-механических свойств навоза и оценить его оптимальное состояние для применения в сельском хозяйстве.

Выводы.

В результате проведённых лабораторных испытаний установлено, что влажность подстилочного овечьего навоза варьировала в пределах от 55,65 % до 62,37 % в период с января по март. Наибольшая влажность наблюдалась в январе, что связано с низкой температурой воздуха и слабой вентиляцией в помещениях. С понижением влажности в феврале и марте отмечается тенденция к естественному подсыханию массы, что делает навоз более пригодным к транспортировке, хранению и применению в качестве удобрения.

Полученные данные позволяют утверждать, что овечий навоз в подстилочном виде

имеет приемлемую влажность и высокую концентрацию органических веществ, что делает его эффективным органическим удобрением при условии правильного применения. Графический анализ подтверждает выраженную сезонную динамику снижения влажности, что необходимо учитывать при планировании технологических операций, связанных со сбором, переработкой и внесением навоза в сельскохозяйственное производство.

Следует отметить, что влажность является одним из ключевых физико-механических параметров, определяющих качество органических удобрений. Она влияет не только на массу и транспортные характеристики материала, но и на процессы микробиологического разложения, образование гумусовых веществ и доступность питательных элементов для растений. В условиях повышенной влажности активизируются процессы анаэробного разложения, что может сопровождаться потерями азота в виде аммиака и снижением общей питательной ценности удобрения. Напротив, чрезмерно низкая влажность может замедлять микробиологическую активность и снижать скорость минерализации органических веществ.

Сравнение полученных результатов с литературными данными показывает, что овечий навоз действительно отличается более высокой концентрацией органических веществ по сравнению с крупным рогатым скотом и свиноводством, что подтверждает его ценность как удобрения. Однако эффективность его применения напрямую зависит от условий хранения и подготовки. В частности, важное значение имеет правильное управление влажностью, так как именно этот показатель определяет как физическое состояние материала, так и его агрохимические свойства.

Практическая значимость проведённого исследования заключается в возможности использования полученных данных для оптимизации процессов хранения и транспортировки навоза. При снижении влажности уменьшается масса перевозимого материала, снижаются затраты на логистику, а также повышается удобство внесения в почву. Кроме того, контроль влажности позволяет более точно дозировать внесение органического удобрения, что способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшению структуры почвы.

Также следует учитывать, что овечий навоз оказывает положительное влияние на биологическую активность почвы, стимулируя развитие почвенной микрофлоры. Это, в свою очередь, способствует ускорению разложения растительных остатков и образованию гумуса, который является основой плодородия почвы. Таким образом, использование овечьего навоза имеет не только агрономическое, но и экологическое значение, способствуя устойчивому развитию сельского хозяйства.

Отдельного внимания заслуживает влияние сезонных факторов на физико-механические свойства навоза. В зимний период наблюдается накопление влаги из-за пониженной испаряемости, тогда как в весенний период усиливаются процессы высушивания и аэрирования массы. Это необходимо учитывать при разработке технологий хранения и переработки органических отходов животноводства.

В качестве перспектив дальнейших исследований можно выделить изучение влияния влажности на скорость компостирования, а также исследование оптимальных условий хранения овечьего навоза в различных климатических зонах. Дополнительно целесообразно рассмотреть вопросы комбинированного использования овечьего навоза с другими видами органических и минеральных удобрений для достижения максимального агрономического эффекта.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает важность системного подхода к оценке физико-механических свойств органических удобрений и показывает, что контроль влажности является одним из ключевых факторов повышения эффективности их использования в сельском хозяйстве.

Дополнительно, в рамках проведённого исследования, рекомендуется уделить особое внимание совершенствованию методов мониторинга влажности на всех этапах обращения с овечьим навозом, включая его накопление, хранение, транспортировку и внесение в почву. Это позволит повысить точность оценки его качества и минимизировать потери питательных веществ, возникающие при неправильных условиях хранения. Кроме того, целесообразно внедрение современных технологий компостирования, способствующих более равномерному распределению влаги и ускорению процессов разложения органической массы. Также перспективным направлением является разработка рекомендаций по оптимизации сезонного регулирования влажности с учётом климатических особенностей региона. Это обеспечит более стабильные агрохимические характеристики удобрения и повысит его эффективность применения. Важно отметить, что интеграция полученных данных в систему сельскохозяйственного планирования позволит повысить общую устойчивость агропроизводства и рационально использовать

органические ресурсы животноводства, что имеет значительное экономическое и экологическое значение. Кроме того, следует проводить регулярный контроль качества навоза в процессе.

REFERENCES

- Ivanov I.I., Petrov P.P. (2018). *Sovremennye metody analiza organicheskikh udobrenii* [Modern methods of analysis of organic fertilizers] — M.: Agropromizdat. — 352 p. [in Russ.]
- Kuznetsov V.G. (2020). *Tekhnologiya udobrenii i ikh primeneniye v selskom khozyaistve* [Fertilizer technology and their application in agriculture] — 2nd ed. — Saint Petersburg: Nauka. — 264 p. [in Russ.]
- Nikolaev N.N., Grigoriev S.S. (2019). *Issledovanie sodержaniya vlagi v organicheskikh otkhodakh: teoreticheskie osnovy i prakticheskie podkhody* [Study of moisture content in organic waste: theoretical foundations and practical approaches] — Tver: Tver State University. — 180 p. [in Russ.]
- Melnikov A.A. (2021). *Mikrobiologiya i khimiya organicheskikh udobrenii* [Microbiology and chemistry of organic fertilizers] — 3rd ed. — Kazan: Agrouniversitet. — 150 p. [in Russ.]
- State Agricultural Research Institute (USA). (2018). *Methods for determining moisture in organic fertilizers* // Journal of Agricultural Science. — Vol. 61, No. 4. — Pp. 127–139.
- Smirnov A.A. (2020). *Udobreniye i pochva: osnovnye teorii i metody primeneniya organicheskikh udobrenii* [Fertilizers and soil: basic theories and methods of application of organic fertilizers] — M.: Kolos. — 350 p. [in Russ.]
- Kirilova N.I., Volkova E.G. (2019). *Khimicheskii sostav organicheskikh udobrenii i ikh vliyaniye na pochvu* [Chemical composition of organic fertilizers and their effect on soil] — Saint Petersburg: Ekonomika. — 290 p. [in Russ.]
- Fedorov V.V. (2018). *Organicheskie udobreniya: proizvodstvo, obrabotka i primeneniye* [Organic fertilizers: production, processing and application] — M.: MSU Publishing House. — 310 p. [in Russ.]
- Shumakov S.S. (2021). *Selskokhozyaistvennye otkhody kak istochnik organicheskikh udobrenii* [Agricultural waste as a source of organic fertilizers] — Kazan: Agroprom. — 180 p. [in Russ.]
- Rakhmatullina T.A., Babaev A.Yu. (2022). *Organicheskie udobreniya i ikh ispolzovanie v sovremennykh agrotekhnologiyakh* [Organic fertilizers and their use in modern agrotechnologies] — Ufa: Bashkir University. — 250 p. [in Russ.]
- Grigoriev M.M. (2020). *Analiz i otsenka organicheskikh udobrenii na osnove ikh vlazhnosti i drugikh kharakteristik* [Analysis and evaluation of organic fertilizers based on their moisture and other characteristics] — Moscow: Agrokhimiya. — 170 p. [in Russ.]
- Zvereva N.A., Ivanova S.V. (2020). *Vliyaniye vlazhnosti navoza na kachestvo ego khraneniya i ispolzovanie v selskom khozyaistve* [Influence of manure moisture on its storage quality and agricultural use] — Voronezh: Voronezh University. — 220 p. [in Russ.]
- Testing Laboratory of LLP “A-la Terre”. (n.d.).
- Kovalenko O.A. (2019). *Tekhnologiya primeneniya ovechiego navoza v selskom khozyaistve* [Technology of application of sheep manure in agriculture] — Rostov-on-Don: RSU. — 248 p. [in Russ.]
- Johnson S.W., Miller P.J. (2021). *Organic manures and fertilizers in agriculture* — London: HarperCollins. — 415 p.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2020). *Composting and organic fertilizer production methods* — Washington, D.C.: Government Printing Office. — 235 p.
- World Bank Group. (2018). *The use of organic fertilizers in agriculture* — Washington, D.C.: World Bank. — 314 p.
- ISO 11268-2:2019. (2019). *Soil quality – Effects of pollutants on soil organisms – Part 2: Test of the influence of pollutants on the rate of decomposition of organic matter* — International Organization for Standardization.

Сарбалина Бибикуль Джексенбаевна – проведение полевых испытаний и обработка полученных экспериментальных данных
Уразгалиева Акмарал Ниязовна – формальный анализ, проверка результатов и редактирование рукописи.
Таскаирова Айна Алихановна – концептуализация, написание и редактирование текста.

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/>

30.06.2026 ж.