



BAITURSYNULY
UNIVERSITY

№ 2-1 2026 «3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация»

ISSN 2226-6070



Ахмет Байтұрсынұлы атындағы
Қостанай өңірлік университеті

Костанайский региональный университет
имени Ахмет Байтұрсынұлы



КӨПСАЛАЛЫ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 2 2026

I часть

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы
Қостанай өңірлік университеті



**КӨПСАЛАЛЫ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Маусым (июнь) 2026
№ 2 часть 1

“3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация”

2026 ж. маусым № 2, 1 бөлім

Жылына төрт рет шығады

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің көпсалалы ғылыми журналы

Меншік иесі: Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті

Бас редакторы

Куанышбаев С.Б., география ғылымдарының докторы

Бас редактордың ауыл шаруашылығы және ветеринария ғылымдары жөніндегі орынбасары

Жарлығасов Ж.Б., ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты

Бас редактордың педагогика ғылымдары жөніндегі орынбасары

Утегенова Б.М., педагогика ғылымдарының кандидаты

Бас редактордың тарих ғылымдары жөніндегі орынбасары

Еркін Әбіл, тарих ғылымдарының докторы

Бас редактордың филология ғылымдары жөніндегі орынбасары

Әбсадық А.А., филология ғылымдарының докторы

Бас редактордың экономика ғылымдары жөніндегі орынбасары

Исмуратова Г.С., экономика ғылымдарының докторы

Редакциялық кеңес

Брагина Т.М. – биология ғылымдарының докторы, ҚР

Бережнова Е.В. – педагогика ғылымдарының докторы, РФ

Буканова Р.Г. – тарих ғылымдарының докторы, РФ

Важев В.В. – химия ғылымдарының докторы, ҚР

Ким Н.П. – педагогика ғылымдарының докторы, ҚР

Классен В.И. – техника ғылымдарының докторы, РФ

Логвин А.В. – тарих ғылымдарының кандидаты, ҚР

Лозовицка Б. – PhD докторы, Польша

Маслова В.А. – филология ғылымдарының докторы, РБ

Михайлов Ю.Е. – биология ғылымдарының докторы, РФ

Ордабас М. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, Түркия

Пангереев А. – филология ғылымдарының докторы, ҚР

Пантелеенко Ф.И. – техника ғылымдарының докторы, БР

Рыщанова Р.М. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ҚР

Шайкамал Г.И. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ҚР

Санду И.С. – экономика ғылымдарының докторы, РФ

Сипосова М. – PhD докторы, Словакия

Татмышевский К.В. – техника ғылымдарының докторы, РФ

Триведи К. – PhD докторы, Үндістан

Редакторлар: *Абенова Ж.М.*, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты; *Тастекова Г.Б.*, *Нурпеисова Э.Т.*, тарих магистрлері

Журнал 2000 ж. бастап шығады. 08.11.2023 ж. Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінде қайта тіркелген. № KZ48VPY00081421 куәлігі.

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы ҚӨУ-дің 18.03.2022 ж. № 104 «3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация» Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым саласында сапаны қамтамасыз ету комитеті алқасының шешімімен 06.00.00-Ауыл шаруашылығы ғылымдары және 16.00.00-Ветеринариялық ғылымдар, № 175 18.04.2023 – 13.00.00-Педагогика ғылымдар салалары бойынша диссертацияның негізгі нәтижелерін жариялау үшін ұсынылған ғылыми басылымдар тізіміне кірді.

2012 ж. аталмыш журнал ISSN (ЮНЕСКО, г. Париж, Франция) сериялық басылымдарды тіркеу жөніндегі халықаралық орталығында тіркеліп, **ISSN 2226-6070** халықаралық нөмірі берілді.

Авторлардың пікірлері редакцияның көзқарасымен сәйкес келе бермейді. Қолжазбаларға рецензия берілмейді және қайтарылмайды. Ұсынылған материалдардың дұрыстығына автор жауапты. Қайта басылған материалдарды журналға сүйеніп шығару міндетті.

“3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация”

№ 2, часть 1, июнь 2026 г.

Выходит 4 раза в год

**Многопрофильный научный журнал Костанайского
регионального университета имени Ахмет Байтұрсынұлы**

Собственник: Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы

Главный редактор

Куанышбаев С.Б., доктор географических наук

Заместитель главного редактора по сельскохозяйственным и ветеринарным наукам

Жарлыгасов Ж.Б., кандидат сельскохозяйственных наук

Заместитель главного редактора по педагогическим наукам

Утегенова Б.М., кандидат педагогических наук

Заместитель главного редактора по историческим наукам

Еркін Әбіл, доктор исторических наук

Заместитель главного редактора по филологическим наукам

Әбсадық А.А., доктор филологических наук

Заместитель главного редактора по экономическим наукам

Исмуратова Г.С., доктор экономических наук

Редакционный совет

Брагина Т.М. – доктор биологических наук, РК

Бережнова Е.В. – доктор педагогических наук, РФ

Буканова Р.Г. – доктор исторических наук, РФ

Важев В.В. – доктор химических наук, РК

Ким Н.П. – доктор педагогических наук, РК

Классен В.И. – доктор технических наук, РФ

Логвин А.В. – кандидат исторических наук, РК

Лозовицка Б. – PhD, Польша

Маслова В.А. – доктор филологических наук, РБ

Михайлов Ю.Е. – доктор биологических наук, РФ

Ордабас М. – доктор сельскохозяйственных наук, Турция

Пангереев А. – доктор филологических наук, РК

Пантелеенко Ф.И. – доктор технических наук, РБ

Рыщанова Р.М. – кандидат ветеринарных наук, РК

Шайкамал Г.И. – кандидат сельскохозяйственных наук, РК

Санду И.С. – доктор экономических наук, РФ

Сипосова М. – доктор PhD, Словакия

Татмышевский К.В. – доктор технических наук, РФ

Триведи К. – доктор PhD, Индия

Редакторы: *Абенова Ж.М.*, кандидат сельскохозяйственных наук; *Тастекова Г.Б.*, *Нурпеисова Э.Т.*, магистры истории

Журнал выходит с 2000 г. Перерегистрирован в Министерстве информации и общественного развития Республики Казахстан 08.11.2023 г. Свидетельство № KZ48VPY00081421.

Решением Коллегии Комитета по обеспечению качества в сфере образования и науки Республики Казахстан № 104 от 18.03.2022 г. журнал КРУ имени Ахмет Байтұрсынұлы «3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация» включен в Перечень научных изданий, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций по отраслям: 06.00.00-Сельскохозяйственные науки и 16.00.00-Ветеринарные науки, № 175 от 18.04.2023 г. – 13.00.00-Педагогические науки.

Журнал в 2012 г. зарегистрирован в Международном центре по регистрации сериальных изданий ISSN (ЮНЕСКО, г. Париж, Франция), присвоен международный номер **ISSN 2226-6070**.

Мнение авторов не всегда отражает точку зрения редакции. За достоверность предоставленных материалов ответственность несет автор. При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

"3i: intellect, idea, innovation"

No. 2, Part 1, June 2026

The journal is published four times per year

**Multidisciplinary Scientific Journal of
the Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University**

Owner: Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University

Editor-in-Chief

Kuanyshbayev S.B., Doctor of Geographical Sciences

Deputy Editor-in-Chief for Agricultural and Veterinary Sciences

Zharlygassov Zh.B., Candidate of Agricultural Sciences

Deputy Editor-in-Chief for Pedagogical Sciences

Utegenova B.M., Candidate of Pedagogical Sciences

Deputy Editor-in-Chief for Historical Sciences

Yerkin Abil, Doctor of Historical Sciences

Deputy Editor-in-Chief for Philological Sciences

Absadyk A.A., Doctor of Philological Sciences

Deputy Editor-in-Chief for Economics

Ismuratova G.S., Doctor of Economics

Editorial Board

Bragina T.M. – Doctor of Biological Sciences, Republic of Kazakhstan

Berezhnova Y.V. – Doctor of Pedagogical Sciences, Russian Federation

Bukanova R.G. – Doctor of Historical Sciences, Russian Federation

Vazhev V.V. – Doctor of Chemical Sciences, Republic of Kazakhstan

Kim N.P. – Doctor of Pedagogical Sciences, Republic of Kazakhstan

Klassen V.I. – Doctor of Technical Sciences, Russian Federation

Logvin A.V. – Candidate of Historical Sciences, Republic of Kazakhstan

Lozowicka B. – PhD, Poland

Maslova V.A. – Doctor of Philological Sciences, Republic of Belarus

Mikhailov Yu.Y. – Doctor of Biological Sciences, Russian Federation

Ordabas M. – Doctor of Agricultural Sciences, Turkey

Pangereyev A.Sh. – Doctor of Philological Sciences

Panteleyenkov F.I. – Doctor of Technical Sciences, Republic of Belarus

Ryshchanova R.M. – Candidate of Veterinary Sciences, Republic of Kazakhstan

Shaikamal G.I. – Candidate of Agricultural Sciences, Republic of Kazakhstan

Sandu I.S. – Doctor of Economics, Russian Federation

Siposova M. – PhD, Slovakia

Tatmyshevskiy K.V. – Doctor of Technical Sciences, Russian Federation

Trivedi K. – PhD, India

Editors: *Abenova Zh.M.*, Candidate of Agricultural Sciences; *Tastekova G.B.*, *Nurpeissova E.T.*, Masters of History

The journal has been published since 2000. Date of re-registration with the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan: November 8, 2023. Certificate no. KZ48VPY00081421.

Pursuant to Decision No. 104 of the Board of the Science and Education Quality Assurance Committee of the Republic of Kazakhstan dated March 18, 2022, the journal "3i: Intellect, Idea, Innovation: of Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University was included in the list of scientific publications recommended for publishing the main results of thesis research in the following fields:" 06.00.00-Agricultural Sciences and 16.00.00-Veterinary Sciences, No. 175 dated April 18, 2023 – 13.00.00-Pedagogical Sciences.

In 2012, the journal was registered with the International Centre for the registration of serial publications (ISSN) (UNESCO, Paris, France), and assigned the international number **ISSN 2226-6070**.

The views expressed by the authors do not necessarily reflect those of the editorial board. The author(s) shall responsible for the accuracy of the submitted materials. Reprinting of materials is permitted only with appropriate reference to the journal.

МРНТИ 68.41.35

УДК 619:618.19-002

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621005>

ПРИМЕНЕНИЕ ФИТОБИОТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА В ФОРМЕ «DIP» ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ МАСТИТА ЖИВОТНЫХ

Аленова М.Е. – докторант PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», старший лаборант, ТОО «NFT-KATU», г. Астана, Республика Казахстан.

Мустафина Р.Х.* – PhD, и.о. ассоциированного профессора, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», старший научный сотрудник ТОО «NFT-KATU», г. Астана, Республика Казахстан.

Бабошина Л.Д. – специалист по ветеринарии, лаборант, ТОО «NFT-KATU», г. Астана, Республика Казахстан.

Балджи Ю.А. – кандидат ветеринарных наук, профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», генеральный директор ТОО «NFT-KATU», г. Астана, Республика Казахстан.

Мастит – ключевой фактор снижения рентабельности молочных ферм, за счет прямого снижения продуктивности животных, ухудшения технологических и санитарных показателей молока. Широкое применение антибиотикотерапии при мастите ведет к развитию резистентности микроорганизмов, контаминации молока, в последующие и молочные продукты, нарушению экологической безопасности. В связи с этим актуальной задачей является поиск альтернативных, экологически безопасных средств профилактики мастита. Исследование направлено на комплексную оценку эффективности фитобиотического «Dip» средства для профилактики мастита у коров и коз.

Эксперимент проведен в ИП «Семенова» Акмолинской области на коровах Айрширской породы и козах Камори. Опытным животным после каждого доения в течение 30 дней обрабатывали соски путем погружения в стакан с фитобиотиком, контрольные группы не обрабатывали. Использовались стандартные микробиологические методы (определение КМАФАнМ, БГКП, дрожжей, плесневых грибов), физико-химический анализ молока (жир, белок, лактоза, СОМО, плотность, количество соматических клеток) и СМТ-тест. Результаты показали, что применение фитобиотического средства привело к полной элиминации БГКП и дрожжей из молока в опытных группах, а также к значительному снижению общей бактериальной обсемененности поверхности вымени (КМАФАнМ у коров снизился на 86,8%, у коз – на 53,4%). В молоке коров опытной группы достоверно увеличилось содержание жира (+9,6%), белка (+4,1%), лактозы (+5,5%) и снизилось количество соматических клеток на 24,3%, в то время как в контроле их число возросло на 50%. У коз опытной группы отмечена стабилизация физико-химических показателей и снижение соматических клеток на 38,1%. Практическая значимость состоит в доказательстве возможности использования разработанного средства для эффективной профилактики мастита, улучшения санитарного качества молока и повышения его питательной ценности, что способствует снижению экономических потерь в молочном животноводстве.

Ключевые слова: мастит, фитобиотики, дип-обработка, качество молока, соматические клетки, антибиотикорезистентность, ветеринарная фитотерапия.

МАЛ ЖАНУАРЛАРЫНЫҢ МАСТИТІНІҢ АЛДЫН АЛУ ҮШІН «DIP» ФОРМАСЫНДАҒЫ ФИТОБИОТИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДЫ ҚОЛДАНУ

Аленова М.Е. – PhD докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, «NFT-KATU» ЖШС аға зертханашысы, Астана қ, Қазақстан Республикасы.

Мустафина Р.Х.* – PhD, қауымдастырылған профессордың м.а., «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, «NFT-KATU» ЖШС аға ғылыми қызметкері, Астана қ, Қазақстан Республикасы.

Бабошина Л.Д. – ветеринария маманы, «NFT-KATU» ЖШС зертханашысы, Астана қ, Қазақстан Республикасы.

Балджи Ю.А. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ профессоры, «NFT-KATU» ЖШС бас директоры, Астана қ, Қазақстан Республикасы.

Мастит – жануарлардың өнімділігінің тікелей төмендеуі, сүттің технологиялық және санитарлық көрсеткіштерінің нашарлауы салдарынан сүт фермаларының рентабельділігін төмендететін негізгі факторлардың бірі. Маститті емдеуде антибиотикотерапияны кеңінен қолдану

микроорганизмдердің резистенттілігінің дамуына, сүттің, кейіннен сүт өнімдерінің контаминациясына және экологиялық қауіпсіздіктің бұзылуына әкеледі. Осыған байланысты маститтің алдын алу арналған баламалы, экологиялық қауіпсіз құралдарды іздеу өзекті мәселе болып табылады. Зерттеу сиырлар мен ешкілердегі маститтің алдын алу үшін фитобиотикалық «Dip» құралдың тиімділігін кешенді бағалауға бағытталған.

Эксперимент Ақмола облысындағы «Семенова» ЖК базасында Айршир тұқымды сиырлар мен Камори тұқымды ешкілерге жүргізілді. Тәжірибелік топтағы жануарлардың желін үрпілері әр сауымнан кейін 30 күн бойы фитобиотик ерітіндісі бар ыдысқа батыру әдісімен өңделді, ал бақылау топтарында өңдеу жүргізілмеді. Зерттеуде стандартты микробиологиялық әдістер (КМАФАнМ, БГКП, ашытқылар, зең саңырауқұлақтарын анықтау), сүттің физика-химиялық көрсеткіштерін талдау (май, ақуыз, лактоза, СОМО, тығыздық, соматикалық жасушалар саны) және СМТ-тест қолданылды.

Нәтижелер фитобиотикалық құралды қолдану тәжірибелік топтардың сүтінде БГКП мен ашытқылардың толық элиминациясына әкелгенін, сондай-ақ желін бетінің жалпы бактериалдық ластануының айтарлықтай төмендегенін көрсетті (сиырларда КМАФАнМ 86,8%-ға, ешкілерде 53,4%-ға төмендеді). Тәжірибелік топтағы сиырлардың сүтінде май мөлшері 9,6%-ға, ақуыз 4,1%-ға, лактоза 5,5%-ға артты, ал соматикалық жасушалар саны 24,3%-ға төмендеді, ал бақылау тобында олардың саны 50%-ға артты. Тәжірибелік топтағы ешкілерде физика-химиялық көрсеткіштердің тұрақтануы және соматикалық жасушалар санының 38,1%-ға төмендеуі байқалды.

Практикалық маңыздылығы – өзірленген құралды маститтің тиімді профилактикасы, сүттің санитарлық сапасын жақсарту және оның қоректік құндылығын арттыру үшін қолдану мүмкіндігін дәлелдеуінде, бұл сүтті мал шаруашылығындағы экономикалық шығындарды азайтуға ықпал етеді.

Түйінді сөздер: мастит, фитобиотиктер, dip-өңдеу, сүт сапасы, соматикалық жасушалар, антибиотикке төзімділік, ветеринариялық фитотерапия.

USING PHYTOBIOTIC DIPPING AGENT FOR PREVENTION OF MASTITIS IN ANIMALS

Alenova M.Ye. – PhD student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Senior Laboratory Assistant, NFT-KATU LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Mustafina R.Kh. * – PhD, acting Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Senior Researcher, NFT-KATU LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Baboshina L.D. – Veterinary Specialist, Laboratory Assistant, NFT-KATU LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Balji Yu.A. – Candidate of Veterinary Sciences, Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, General director, NFT-KATU LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Mastitis is a key factor reducing the profitability of dairy farms due to decreased animal productivity and deterioration of technological and sanitary quality of milk. The widespread use of antibiotics contributes to antimicrobial resistance, contamination of milk and dairy products, and environmental risks. Therefore, the development of alternative, environmentally friendly preventive solutions is highly relevant.

This study aimed to evaluate the effectiveness of a phytobiotic dipping agent for mastitis prevention in cows and goats. The experiment was conducted at a private farm in the Akmola region using Ayrshire cows and Kamori goats. In the experimental groups, teat dipping with the phytobiotic agent was performed after each milking for 30 days, while control groups received no treatment. Standard microbiological methods (total viable count, coliform bacteria, yeasts, molds), physicochemical tests of milk (fat, protein, lactose, solids-not-fat, density, somatic cell count), and CMT tests were applied.

The results showed complete elimination of coliform bacteria and yeasts in treated animals and a reduction in microbial contamination of the udder surface (total viable count reduced by 86.8% in cows and 53.4% in goats). In cow milk, fat, protein, and lactose increased by 9.6%, 4.1%, and 5.5%, respectively, while somatic cell count decreased by 24.3% (in control, it increased by 50%). In goats, physicochemical parameters stabilized and somatic cell count decreased by 38.1%.

The findings confirm the potential of the phytobiotic agent as an effective and safe alternative for mastitis prevention, improving milk sanitary quality and nutrient value, and reducing economic losses.

Keywords: mastitis, phytobiotics, dip treatment, milk quality, somatic cells, antibiotic resistance, veterinary phytotherapy.

Введение. Мастит (Mastitis) – полиэтиологическое воспалительное заболевание молочной железы, вызываемое биологическими факторами, условиями внешней среды и иммунного статуса животного [1, с. 32]. Вызывается микроорганизмами, грибами и вирусами, поэтому эффективной вакцины против мастита пока нет. Основные меры борьбы включают дезинфекцию сосков до и после доения, соблюдение техники доения, исправное доильное оборудование, гигиену животных и помещений, а также своевременное лечение [2, с. 36].

Экономический ущерб от мастита, особенно от его субклинической формы, которая встречается в 2-4 раза чаще клинической, носит глобальный характер и складывается из снижения продуктивности,

преждевременной выбраковки, затрат на лечение и диагностику, а также потерь качества молока [3, с. 1391, 4, с. 304].

Проблема широко распространена: в мировом поголовье коров, более 40% животных страдают различными формами мастита [5, с. 51]. По данным Бюро национальной статистики, на 1 января 2026 года поголовье КРС в Казахстане достигло 8 млн 167,2 тыс. голов, что на 2,4% или 190,5 тыс. голов больше, чем годом ранее (7 млн 976,7 тыс. голов) [6]. В глобальном масштабе мастит ежегодно поражает от 15% до 40% лактирующих коров, что имеет значительные последствия для производства молока, благополучия животных и экономики ферм [7, с. 398].

Этиология мастита сложна и многофакторна, что затрудняет разработку единых мер борьбы [8, с. 34]. К эндогенным факторам относят физиологический статус, иммунную реактивность и генетическую предрасположенность животного. Экзогенные факторы включают механические травмы, нарушения микроклимата (низкие температуры, высокая влажность, повышенная концентрация аммиака), а также биологические агенты, главным образом бактерии родов *Staphylococcus*, *Streptococcus* и *Escherichia* [9, с. 98; 10, с. 229]. Ключевой причиной мастита на молочнотоварных фермах являются нарушения технологии доения, условий содержания, кормления и ветеринарно-санитарных мероприятий [11, с. 6]. Традиционная терапия мастита базируется на применении антибиотиков. Несмотря на существование эффективных схем, их широкое использование привело к накоплению глобальных проблем: формированию устойчивости у патогенов, риску остаточных количеств в пищевой продукции, увеличению себестоимости лечения [17, с. 157; 19, с. 9; 25, с. 226], контаминации молока, так как введенные препараты сохраняются и выделяются после курса лечения [23, с. 883]. Многочисленные исследования фиксируют высокий уровень резистентности у возбудителей мастита к широко применяемым антибиотикам, включая бета-лактамы и тетрациклины, что согласуется с общемировой тенденцией роста антимикробной резистентности [19, с. 9; 22, с. 154]. По оценкам экспертов, из-за устойчивости патогенных микроорганизмов ежегодно в мире погибают около 700 тыс. человек [24, с. 76].

Это стимулирует поиск альтернативных и дополняющих стратегий в рамках концепции ответственного использования противомикробных препаратов (AMU) [18, с. 24]. Данный подход полностью согласуется с принципами органического животноводства, которое предполагает отказ от применения антибиотиков с профилактической целью и в качестве стимуляторов роста, делая акцент на укреплении естественной резистентности животных и получении безопасной продукции [26, с. 41]. Наиболее перспективной и соответствующей этим принципам альтернативой являются экологически безопасные препараты, в частности, фитобиотики – средства растительного происхождения, а также продукты минерального и животного происхождения [27, с. 62]. Механизм их действия основан на комплексном влиянии на организм. Фитотерапия способна регулировать эндокринный и иммунный статус, мобилизуя внутренние резервы и неспецифические механизмы защиты, а также стабилизировать метаболические процессы, что в совокупности приводит к повышению общей резистентности животного к инфекциям, включая мастит [28, с. 122].

Биологически активные вещества растений (фенолы, терпеноиды, алкалоиды, полисахариды) обладают доказанным комплексным действием: антимикробным (включая активность против антибиотикорезистентных штаммов), противовоспалительным, антиоксидантным и иммуномодулирующим [16, с. 81; 17, с. 157]. Эффективность комбинированных фитоформул, содержащих экстракты чеснока (*Allium sativum*), ромашки (*Matricaria chamomilla*), хмеля (*Humulus lupulus*) и других растений, в отношении возбудителей мастита подтверждена рядом исследований [18, с. 24; 19, с. 9]. Ранее нами были проведены исследования, в которых применяли фитобиотики в составе комбикорма и кормовых добавок [20, с. 85; 21, с. 114]. Особое значение имеет разработка средств для наружной профилактики – Dip-составов (средств для погружения сосков), так как этот метод обеспечивает прямую защиту в наиболее уязвимый период сразу после доения [22, с. 154]. Современные фитобиотические Dip-средства, сочетая барьерные, антисептические и репаративные свойства, способны значительно снижать уровень бактериальной контаминации кожи сосков и частоту новых случаев интрамаммарной инфекции [23, с. 883].

Учитывая высокий экономический ущерб и распространённость мастита, изучение новых методов профилактики и лечения остаётся актуальным. Анализ литературы показывает, что фитобиотики – более безопасная и экономная альтернатива. Они содержат биологически активные вещества с антимикробным, противовоспалительным, противогрибковым и иммуномодулирующим действием, укрепляют защитные силы организма и повышают эффективность профилактики заболеваний.

Целью настоящего исследования была комплексная оценка профилактической эффективности нового фитобиотического средства в форме Dip-обработки у лактирующих коров и коз путём проведения производственных испытаний, анализа его влияния на микробиологическое состояние молока и вымени, а также динамики физико-химических свойств молока и количества соматических клеток.

Задачи исследования:

1. Оценить влияние фитобиотического средства на микробную обсеменённость поверхности вымени.
2. Изучить микробиологические показатели молока (КМАФАнМ, БГКП, дрожжи и др.).
3. Определить влияние средства на физико-химические показатели молока (жир, белок, лактоза и др.).

4. Оценить уровень соматических клеток у животных опытных и контрольных групп.

5. Определить профилактическую эффективность средства при мастите.

Материалы и методы исследований. Исследование включало лабораторный и производственный этапы. Разработку и изготовление фитобиотического средства проводили в ТОО «NFT-KATU» на базе Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина. Производственные испытания проводили на базе хозяйства ИП «Семенова» Акмолинской области. Объектом исследования были дойные коровы Айширской породы и козы породы Камори. Была сформирована опытная группа животных (ОГ, $n=8$), которым обрабатывали соски методом макания в фитобиотическое средство дважды в сутки после доения. Длительность эксперимента 30 дней. Соски вымени коров и коз контрольной группы не обрабатывались (КГ, $n=8$). Фитобиотическое средство для наружной обработки представляло собой композицию концентратов спиртовых экстрактов лекарственных растений, стабилизированных в эмульсионной основе (*Populus balsamifera*, *Matricaria chamomilla*, *Coriandrum sativum*, *Humulus lupulus*, *Artemisia absinthium*, *Fomes fomentarius*) с добавлением глицерина, воды, камеди, льняного масла и воска, отличающуюся широким спектром антимикробной, антигрибковой, антисептической активности на основе природных компонентов (фитобиотиков), обладающих комплексным защитным, и ранозаживляющим и увлажняющим действием, пролонгированным эффектом благодаря защитной пленке из пчелиного воска, безопасным для животных и молочной продукции.

Пробы молока и смывов с поверхности сосков вымени отбирали до начала применения фитобиотического средства и в конце эксперимента на 31-й день. Отбор проб производили в соответствии ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа», и Ветеринарных (ветеринарно-санитарных) правил от 29 июня 2015 года №7-1/587. Смывы с поверхности сосков производили Сваб-системой Promedia ST-25 – 10 мл (R-Biophar, Darmstadt, Germany). Физико-химические показатели молока (массовая доля жира, белка, лактозы, сухого обезжиренного молочного остатка, плотность, точка замерзания, pH) определяли с использованием молочного анализатора «Эксперт Супер Плем Комбо» (ООО «Супер Плем Комбо», Москва, Россия), количество соматических клеток (SCC) – на анализаторе Lactoscan SCC (Delta Instruments Ltd, Haifa, Israel). Состояние вымени дополнительно контролировали еженедельным проведением СМТ-теста.

Микробиологические исследования молока и смывов выполняли по стандартам ISO 7218, ISO 4833-1, ISO 21528-2, ISO 21527-1/2. Определяли количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерий группы кишечной палочки (БГКП), дрожжей и плесневых грибов. Идентификацию микроорганизмов проводили культурально-морфологическими методами на родовом уровне (*Staphylococcus*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Candida*, *Aspergillus*, *Penicillium*).

Обработку экспериментальных данных выполняли с использованием Microsoft Excel и методов вариационной статистики. Рассчитывали среднее арифметическое (M) и стандартную ошибку среднего (m). Статистическую значимость различий между группами и динамики показателей внутри групп оценивали с помощью t -критерия Стьюдента для независимых и зависимых выборок; различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Проведение исследования осуществляли в соответствии с требованиями биоэтики, что было одобрено Локальной этической комиссией по вопросам биологической и медицинской этики факультета Ветеринарии и технологии животноводства Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина (протокол №2 от 01.11.2023).

Результаты. Показатели микробиологического состояния молока и вымени до и после применения фитобиотического средства представлены в таблице 1. Данные позволяют сравнить микробиологическую флору и оценить динамику изменений количества бактерий, дрожжей и плесневых грибов без обработки фитобиотическим Дир-средством.

Таблица 1 – Сравнительный анализ микробиологических показателей в контрольных и опытных группах до и после опыта

Вид животного	Образец	Показатель	Контроль (без обработки)			Опыт (с применением фитобиотического средства)		
			До, тыс. КОЕ/мл	После, тыс. КОЕ/мл	Снижение, %	До, тыс. КОЕ/мл	После, тыс. КОЕ/мл	Снижение, %
Коровы	Молоко	КМАФАнМ	11.3	6.0	46.9%	8.0	0.0	100%
		БГКП	5.0	0.0	100%	3.0	0.0	100%
		Дрожжи	29.6	26.0	12.2%	20.8	0.0	100%
	Смыв с сосков	КМАФАнМ	212.0	92.0	56.6%	143.8	19.0	86.8%
		БГКП	84.3	0.0	100%	52.5	0.0	100%
		Дрожжи	112.3	14.0	87.5%	85.7	6.0	93.0%

Продолжение таблицы 1

Козы	Молоко	КМАФАнМ	68.5	34.0	50.4%	64.6	0.0	100%
		БГКП	1.75	0.0	100%	2.38	0.0	100%
		Дрожжи	76.5	20.0	73.8%	41.6	0.0	100%
	Смыв с сосков	КМАФАнМ	140.2	71.0	49.4%	107.3	50.0	53.4%
		БГКП	40.5	0.0	100%	22.1	0.0	100%
		Дрожжи	107.0	62.0	42.1%	73.5	5.0	93.2%

Микробиологическое состояние молока

В опытных группах, где применяли фитобиотическое Дир-средство, достигнута полная элиминация (100% снижение) всех контролируемых групп микроорганизмов – КМАФАнМ, БГКП и дрожжей, как у коров, так и у коз. В контрольных группах, несмотря на некоторое естественное снижение, полной санации не произошло: уровень КМАФАнМ оставался детектируемым, а содержание дрожжей в молоке коров снизилось лишь на 12.2%. Этот результат свидетельствует о выраженном антимикробном действии препарата, обеспечивающем получение молока, соответствующего высоким санитарным нормам (КМАФАнМ $\leq 5 \times 10^5$ КОЕ/мл, БГКП – отсутствуют).

Микробиологическое состояние поверхности вымени

В смывах с сосков вымени также зафиксирована значительная положительная динамика:

- БГКП были полностью устранены (100% снижение) как в контрольных, так и в опытных группах.
- по показателю КМАФАнМ эффективность фитобиотического средства была более выражена у коров: снижение составило 86.8% против 56.6% в контроле. У коз разница между группами была менее значительной.

Наиболее заметный эффект от применения фитобиотического Дир-средства наблюдали в отношении дрожжей. В опытных группах их количество снизилось на 93.0% у коров и на 93.2% у коз, что существенно превышает показатели контрольных групп (87.5% и 42.1% соответственно).

Результаты исследований физико-химических показателей молока коров и коз представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика физико-химических показателей молока коров и коз в экспериментальных группах

Вид животного	Показатель	Контрольная группа (n=4)		Опытная группа (n=4)		Нормативный диапазон
		До опыта	31-й день	До опыта	31-й день	
КРС	Жир, %	4.27±1.30	3.64±0.27	2.85±0.60	3.12±0.29*	≥2.8
	Белок, %	3.55±0.06	3.63±0.07	3.17±0.06	3.30±0.09*	≥2.8
	СОМО, %	9.5 ±0.15	9.91±0.18	8.59±0.17	9.01±0.24*	≥8.2
	Плотность, °А	32.15±1.78	34.41±0.88	30.10±0.80	31.73±0.56	27-33
	Лактоза, %	5.2 ±0.08	5.45±0.10	4.70±0.09	4.96±0.13*	4.0-5.5
	Сухие в-ва, %	13.64±1.15	13.55±0.10	11.43±0.62	11.80±0.76*	12-13
	Сом. клетки, тыс./см ³	44.0±25.0	66.0±24.0*	61.7±30.4	46.7±37.4*	≤500
Козы	Жир, %	3.12±0.56	4.13±0.51	3.47±0.36	4.69±0.11*	≥2.5
	Белок, %	3.35±0.04	3.25±0.09	3.47±0.08	3.41±0.11	≥2.8
	СОМО, %	9.07±0.11	8.91±0.24	9.41±0.21	9.33±0.28	≥8.2
	Плотность, °А	31.69±0.41	29.84±0.99	32.67±1.07	31.91±1.54*	27–30
	Лактоза, %	4.96±0.06	4.89±0.13	5.15±0.12	5.13±0.16*	≥4.5
	Сухие в-ва, %	12.18±0.63	13.53±0.29	12.88±0.19	13.37±0.36*	12–13
	Сом. клетки, тыс./см ³	59.0±26.0	31.0±7.8	45.8±8.2	28.3±8.5*	≤1000

Примечание: Данные представлены как $M \pm m$. Жирным шрифтом выделены статистически и практически значимые позитивные изменения.

Нормы приведены в соответствии с ТР ТС 033/2013 и ГОСТ 32259-2013.

*p < 0,05

Для оценки эффективности фитобиотического Дир-средства проведён сравнительный анализ динамики физико-химических показателей молока между контрольной и опытной группами коров и коз.

В контрольной группе коров зафиксировано статистически значимое снижение массовой доли жира на 14,7% – с $4,27 \pm 1,30\%$ до $3,64 \pm 0,27\%$, что может свидетельствовать о негативном влиянии экзогенных факторов на липидный обмен. В опытной группе коров отмечен прирост жирности на 9,6% – с $2,85 \pm 0,60\%$ до $3,12 \pm 0,29\%$. Полученное значение (3,12%) не только превышает минимальную норму (2,8%), но и демонстрирует положительное влияние препарата на синтез молочного жира. Данное

изменение объясняется комплексным воздействием фитобиотического Dір-средства, ключевым звеном которого является противовоспалительная активность. Снижение количества соматических клеток на 24,3% свидетельствует об устранении субклинического мастита, что нормализовало энергетический обмен в молочной железе и перенаправило ресурсы с иммунной реакции на синтез молочных компонентов, в первую очередь жира. По содержанию белка в опытной группе коров наблюдали более выраженный рост: увеличение на 4,10% (с $3,17 \pm 0,06\%$ до $3,30 \pm 0,09\%$) против 2,20% в контроле (с $3,55 \pm 0,06\%$ до $3,63 \pm 0,07\%$). Аналогичная картина зафиксирована для лактозы, прирост которой составил 5,54% в опытной группе (с $4,70 \pm 0,09\%$ до $4,96 \pm 0,13\%$) против 3,58% в контроле.

Наиболее показательным является изменение уровня соматических клеток – универсального маркера воспаления вымени. В контрольной группе коров зафиксирован резкий рост СК на 50,0% – с $44,00 \pm 25,00$ тыс./см³ до $66,00 \pm 24,00$ тыс./см³. Такое увеличение сигнализирует о развитии субклинического мастита. В опытной группе коров, напротив, отмечено статистически значимое снижение данного показателя на 24,32% – с $61,67 \pm 30,43$ тыс./см³ до $46,67 \pm 37,42$ тыс./см³. Это является прямым доказательством противовоспалительного и saniрующего эффекта препарата на ткани молочной железы.

У коз применение фитобиотического Dір-средства проявилось в значительном улучшении одних параметров и выраженной стабилизации других. По показателю массовой доли жира в молоке обе группы коз показали положительную динамику, однако в опытной группе прирост был максимальным и составил 35,13% – с $3,47 \pm 0,36\%$ до $4,69 \pm 0,11\%$. В контрольной группе увеличение было на уровне 32,52% (с $3,12 \pm 0,56\%$ до $4,13 \pm 0,51\%$). Стоит отметить, что итоговое значение в опытной группе (4,69%) существенно превышает как начальный уровень, так и результат в контроле.

Ключевым эффектом в опытной группе коз стала стабилизация физико-химических констант. Плотность молока коз снизилась всего на 2,33% (с $32,67 \pm 1,07$ °А до $31,91 \pm 1,54$ °А), тогда как в контроле падение было более чем вдвое значительнее – 5,81%. Содержание лактозы в опытной группе коз осталось практически неизменным (снижение на 0,41% до $5,13 \pm 0,16\%$), в то время как в контрольной группе оно уменьшилось на 1,31%. Массовая доля белка в опытной группе снизилась минимально – на 1,59% (до $3,41 \pm 0,11\%$), что в два раза меньше снижения в контроле (2,93%).

Количество соматических клеток снизилось в обеих группах коз: на 38,07% в опыте и на 47,46% в контроле, что указывает на общий удовлетворительный статус здоровья вымени. Однако в опытной группе это улучшение сочеталось со сбалансированным приростом сухих веществ на 3,82% (до $13,37 \pm 0,36\%$). В контрольной группе был зафиксирован резкий, возможно стрессовый, скачок этого показателя на 11,06%.

Обсуждение. Полученные результаты согласуются с данными других исследований, в которых отмечается эффективность применения фитобиотических средств для снижения микробной обсеменённости и профилактики мастита у молочных животных. Ряд авторов указывает на способность растительных компонентов оказывать антимикробное и противовоспалительное действие, что способствует снижению уровня соматических клеток и улучшению санитарного качества молока.

В настоящем исследовании также установлено выраженное снижение бактериальной контаминации и улучшение физико-химических показателей молока, что подтверждает эффективность применения фитобиотического средства в форме «dір». Более выраженный эффект может быть обусловлен составом используемого средства и способом его применения после каждого доения.

Следует отметить, что в исследовании использовалось ограниченное количество животных (n=8 для каждого вида, по 4 в опытной и контрольной группах), что связано с условиями проведения работы на базе малого фермерского хозяйства, где общее поголовье, особенно коров, было невелико. При этом для обеспечения сопоставимости результатов были сформированы равные по численности группы.

Несмотря на небольшой объём выборки, использование комплекса методов (микробиологических, физико-химических и СМТ-теста) позволило получить устойчивые и согласованные результаты.

Полученные данные также свидетельствуют о наличии пролонгированного эффекта, что проявлялось в сохранении сниженного уровня микробной обсеменённости и соматических клеток в течение всего периода наблюдения. Это может быть связано с формированием защитного слоя на поверхности сосков и антимикробными свойствами компонентов фитобиотического средства.

Вместе с тем, при интерпретации результатов следует учитывать ограниченный объём выборки, в связи с чем дальнейшие исследования с большим количеством животных являются перспективными.

В результате полученных данных, поданы заявки на выдачу патентов на изобретение РК №2025/1024.1 от 18.10.2025 под названием «Способ изготовления фитобиотического средства для обработки сосков вымени животных» и №2024/0961.1 от 10.11.2024 под названием «Способ профилактики и лечения мастита сельскохозяйственных животных».

Заключение

1. Применение фитобиотического средства в форме «dір» после доения способствует значительному снижению микробной обсеменённости поверхности вымени: у коров уровень КМАФАнМ снизился на 86,8%, у коз – на 53,4%.

2. В молоке животных опытных групп установлена полная элиминация бактерий группы кишечной палочки и дрожжей.

3. У коров опытной группы отмечено увеличение содержания жира на 9,6%, белка – на 4,1% и лактозы – на 5,5%, а также снижение уровня соматических клеток на 24,3%, тогда как в контрольной группе наблюдалось их увеличение.

4. У коз применение средства способствовало стабилизации физико-химических показателей молока и снижению уровня соматических клеток на 38,1%.

5. Полученные результаты подтверждают эффективность фитобиотического средства для профилактики мастита, его положительное влияние на санитарное качество и питательную ценность молока, а также свидетельствуют о перспективности применения фитобиотиков, несмотря на ограниченный объем выборки.

Благодарность. Финансовая поддержка данного исследования была предоставлена Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта AP23484620 «Разработка и внедрение фитогенных и фитобиотических средств для профилактики и лечения мастита у животных с оценкой качества и безопасности молока».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Егунова А.В. Комплексное применение препаратов на основе йода и глицерина при лечении мастита у коров [Текст] / А.В. Егунова // Ветеринарный врач, 2014. – № 6. – С. 36–42.
2. Шарифуллин С.Ф., Салимов В.А. Распространение и профилактика мастита у коров [Текст] / С.Ф. Шарифуллин, В.А. Салимов // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана, 2019. – Т. 238. – № 2. – С. 262–266.
3. Mukhamadieva N., Shaimardanova R., Pavlova M., Egorova K. The effectiveness of a phyto-biotic dip for the prevention of mastitis in dairy cows [Text] / N. Mukhamadieva, R. Shaimardanova, M. Pavlova, K. Egorova // E3S Web of Conferences, 2023, Vol. 371, Art. 01015. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101015>.
4. Парамонова О.А., Парамонова Л.В., Хаертдинов Р.А. Состояние молочной железы коров в условиях промышленной технологии [Текст] / О.А. Парамонова, Л.В. Парамонова, Р.А. Хаертдинов // Ученые записки КГАВМ, 2010. – Т. 203. – С. 304–308.
5. Зыкова И.Д., Галиуллин А.К., Салахов И.М. Факторы, влияющие на продуктивность и качество молока коров [Текст] / И.Д. Зыкова, А.К. Галиуллин, И.М. Салахов // Ученые записки КГАВМ, 2015. – Т. 221. – № 1. – С. 84–88.
6. Министерство сельского хозяйства РФ. Рекомендации по диагностике, лечению и профилактике мастита у коров. – URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/ce6/ce6d9d898e1e8c14c7f73df66c61b76e.pdf> (дата обращения: 01.05.2026).
7. Сафин Р.Г., Хайруллин Д.Д., Шарифуллин С.Ф. Экологические аспекты ветеринарии [Текст] / Р.Г. Сафин, Д.Д. Хайруллин, С.Ф. Шарифуллин // Ветеринария, 2020. – № 10 (144). – С. 34–40.
8. Миронова Н.А., Федотов С.В., Кузнецов И.В. Микробиологические аспекты мастита у коров [Текст] / Н.А. Миронова, С.В. Федотов, И.В. Кузнецов // Инновационные разработки в ветеринарии: материалы междунар. науч.-практ. конф., Казань, 2018. – С. 112–115.
9. Вахитов И.Х. Мастит коров. [Текст] / И.Х. Вахитов. – Казань: Изд-во КГАВМ, 2011. – 229 с.
10. Bradley A.J. Bovine mastitis: an evolving disease [Text] / A.J. Bradley // Veterinary Journal, 2002, Vol. 164, No. 2, P. 116–128.
11. Куликова Н.В., Иванова Т.В. Иммунологические показатели молока при мастите [Текст] / Н.В. Куликова, Т.В. Иванова // Актуальные проблемы ветеринарной медицины: материалы конф., Москва, 2017, С. 89–92.
12. Smith K.L., Hogan J.S., Weiss W.P. Dietary vitamin E and selenium affect mastitis and milk quality [Text] / K.L. Smith, J.S. Hogan // Journal of Dairy Science, 1997, Vol. 80, No. 7, P. 1652–1659.
13. Пономарев В.А. Микробиология молока и молочных продуктов. [Текст] / В.А. Пономарев Москва: Колос, 2005. – 319 с.
14. Harmon R.J. Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts [Text] / R.J. Harmon // Journal of Dairy Science, 1994, Vol. 77, No. 7, P. 2103–2112.
15. Сидоров М.А., Субботин В.М. Ветеринарная санитария. [Text] / М.А. Сидоров, В.М. Субботин. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 287 с.
16. Barkema H.W., Schukken Y.H., Zadoks R.N. The role of cow, pathogen, and treatment regimen in the therapeutic success of bovine mastitis [Text] / H.W. Barkema, Y.H. Schukken, R.N. Zadoks // Journal of Dairy Science, 2006, Vol. 89, No. 6, P. 1877–1895.
17. Иванов В.А. Болезни молочной железы коров. [Text] / В.А. Иванов. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 256 с.
18. National Mastitis Council. Laboratory Handbook on Bovine Mastitis. Madison, 2017. 148 p.
19. Blowey R., Edmondson P. Mastitis Control in Dairy Herds. Wallingford: CABI, 2010. 266 p.
20. Федоров Ю.Н. Диагностика и лечение мастита у коров. Новосибирск: Наука, 2009. 198 с.
21. Oliver S.P., Murinda S.E., Jayarao B.M. Impact of antibiotic residues in milk [Text] / S.P. Oliver, S.E. Murinda, B.M. Jayarao // Journal of Dairy Science, 2011, Vol. 94, No. 12, P. 6023–6036.

22. Лукьяновский В.А. **Болезни вымени коров** [Текст] / В.А. Лукьяновский. – Москва: Россельхозиздат, 1979. – 256 с.
23. Ruegg P.L. **A 100-year review: Mastitis detection, management, and prevention** [Text] / P.L. Ruegg // *Journal of Dairy Science*, 2017, Vol. 100, No. 12, P. 10381–10397.
24. Ахметова В.В., Сафин Р.Г. **Биохимические показатели молока при мастите** [Текст] / В.В. Ахметова, Р.Г. Сафин // *Современные проблемы ветеринарии: материалы конф.*, Уфа, 2020. – С. 55-59.
25. Hogan J.S., Gonzalez R.N., Harmon R.J. **Laboratory Handbook on Bovine Mastitis**. Madison: [Text] / J.S. Hogan, R.N. Gonzalez, R.J. Harmon. – National Mastitis Council, 1999. 222 p.
26. Halasa T., Huijps K., Østerås O. **Economic effects of bovine mastitis and mastitis management** [Text] / T. Halasa, K. Huijps, O. Østerås // *Journal of Dairy Science*, 2007, Vol. 90, No. 3, P. 1225–1234.
27. Радостин П.Г., Розанов Н.П. **Ветеринарная гигиена** [Текст] / П.Г. Радостин, Н.П. Розанов Москва: Колос, 2004. – 384 с.
28. Green M.J., Bradley A.J. **Clinical mastitis in dairy cows** [Text] / M.J. Green, A.J. Bradley // *Veterinary Journal*, 2019, Vol. 248, P. 93–101.

REFERENCES:

1. Egunova A.V. **Kompleksnoe primeneniye preparatov na osnove joda i glicerina pri lechenii mastita u korov** [Complex use of iodine and glycerin-based preparations in the treatment of mastitis in cows]. *Veterinarny'j vrach*, 2014, no. 6, pp. 36-42. (In Russian)
2. Sharifullin S.F., Salimov V.A. **Rasprostraneniye i profilaktika mastita u korov** [Distribution and prevention of mastitis in cows]. *Ucheny'e zapiski KGAVM im. N.E. Bauman*, 2019, vol. 238, no. 2, pp. 262-266. (In Russian)
3. Mukhamadieva N., Shaimardanova R., Pavlova M., Egorova K. **The effectiveness of a phyto-biotic dip for the prevention of mastitis in dairy cows**. *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 371, art. 01015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337101015>.
4. Paramonova O.A., Paramonova L.V., Haertdinov R.A. **Sostoyaniye molochnoj zhelezy' korov v usloviyakh promy'shlennoj tehnologii** [State of the mammary gland of cows under industrial technology conditions]. *Ucheny'e zapiski KGAVM*, 2010, vol. 203, pp. 304-308. (In Russian)
5. Zyкова I.D., Galiullin A.K., Salahov I.M. **Fakторы, vliyayushhie na produktivnost' i kachestvo moloka korov** [Factors affecting productivity and milk quality of cows]. *Ucheny'e zapiski KGAVM*, 2015, vol. 221, no. 1, pp. 84-88. (In Russian)
6. **Ministerstvo sel'skogo hozyajstva RF. Rekomendacii po diagnostike, lecheniyu i profilaktike mastita u korov** [Guidelines for diagnosis, treatment and prevention of mastitis in cows]. Available at: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/ce6/ce6d9d898e1e8c14c7f73df66c61b76e.pdf> (accessed 01 May 2026). (In Russian)
7. Safin R.G., Hajrullin D.D., Sharifullin S.F. **E'kologicheskie aspekty' veterinarii** [Environmental aspects of veterinary medicine]. *Veterinariya*, 2020, no. 10 (144), pp. 34-40. (In Russian)
8. Mironova N.A., Fedotov S.V., Kuznecov I.V. **Mikrobiologicheskie aspekty' mastita u korov** [Microbiological aspects of mastitis in cows]. *Innovacionny'e razrabotki v veterinarii: materialy' mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Kazan, 2018, pp. 112-115. (In Russian)
9. Vakhitov I.H. **Mastit korov** [Mastitis of cows]. Kazan, Izd-vo KGAVM, 2011, 229 p. (In Russian)
10. Bradley A.J. **Bovine mastitis: an evolving disease**. *Veterinary Journal*, 2002, vol. 164, no. 2, pp. 116-128.
11. Kulikova N.V., Ivanova T.V. **Immunologicheskie pokazateli moloka pri mastite** [Immunological indicators of milk in mastitis]. *Aktualny'e problemy' veterinarnoy mediciny: materialy' konferencii*, Moscow, 2017, pp. 89-92. (In Russian)
12. Smith K.L., Hogan J.S., Weiss W.P. **Dietary vitamin E and selenium affect mastitis and milk quality**. *Journal of Dairy Science*, 1997, vol. 80, no. 7, pp. 1652-1659.
13. Ponomarev V.A. **Mikrobiologiya moloka i molochny'h produktov** [Microbiology of milk and dairy products]. Moscow, Kolos, 2005, 319 p. (In Russian)
14. Harmon R.J. **Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts**. *Journal of Dairy Science*, 1994, vol. 77, no. 7, pp. 2103-2112.
15. Sidorov M.A., Subbotin V.M. **Veterinarnaya sanitariya** [Veterinary sanitation]. Moscow, Agropromizdat, 1988, 287 p. (In Russian)
16. Barkema H.W., Schukken Y.H., Zadoks R.N. **The role of cow, pathogen, and treatment regimen in the therapeutic success of bovine mastitis**. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89, no. 6, pp. 1877-1895.
17. Ivanov V.A. **Bolezni molochnoj zhelezy' korov** [Diseases of the mammary gland of cows]. Saint Petersburg, Lan, 2012, 256 p. (In Russian)
18. **National Mastitis Council. Laboratory Handbook on bovine mastitis**. Madison, 2017, 148 p.
19. Blowey R., Edmondson P. **Mastitis Control in Dairy Herds**. Wallingford, CABI, 2010, 266 p.
20. Fyodorov Yu.N. **Diagnostika i lechenie mastita u korov** [Diagnosis and treatment of mastitis in cows]. Novosibirsk, Nauka, 2009, 198 p. (In Russian)

21. Oliver S.P., Murinda S.E., Jayarao B.M. Impact of antibiotic residues in milk. *Journal of Dairy Science*, 2011, vol. 94, no. 12, pp. 6023-6036.
22. Lukyanovskij V.A. *Bolezni vy'meni korov* [Diseases of the udder in cows]. Moscow, Rosselkhozizdat, 1979, 256 p. (In Russian)
23. Ruegg P.L. A 100-year review: Mastitis detection, management, and prevention. *Journal of Dairy Science*, 2017, vol. 100, no. 12, pp. 10381-10397.
24. Ahmetova V.V., Safin R.G. Biohimicheskie pokazateli moloka pri mastite [Biochemical indicators of milk in mastitis]. *Sovremennyye problemy veterinarii: materialy konferencii*, Ufa, 2020, pp. 55-59. (In Russian)
25. Hogan J.S., Gonzalez R.N., Harmon R.J. *Laboratory handbook on bovine mastitis*. Madison, National Mastitis Council, 1999, 222 p.
26. Halasa T., Huijps K., Østerås O. Economic effects of bovine mastitis and mastitis management. *Journal of Dairy Science*, 2007, vol. 90, no. 3, pp. 1225-1234.
27. Radostin P.G., Rozanov N.P. *Veterinarnaya gigiena* [Veterinary hygiene]. Moscow, Kolos, 2004, 384 p. (In Russian)
28. Green M.J., Bradley A.J. Clinical mastitis in dairy cows. *Veterinary Journal*, 2019, vol. 248, pp. 93-101.

Сведения об авторах:

Аленова Меруерт Ергалиевна – докторант, образовательная программа 8D09102 – Санитарно-экологическая безопасность продуктов животноводства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», старший лаборант, ТОО «NFT-KATU» Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Победа 62, тел.: 87028876660, e-mail: meruert_ergalivena@mail.ru.

Мустафина Райхан Хусаиновна* – PhD, и.о. ассоциированного профессора, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», старший научный сотрудник, ТОО «NFT-KATU» Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Победа 62, тел.: 87028043427, e-mail: Raihan1984@mail.ru.

Бабошина Людмила Дмитриевна – специалист по ветеринарии, лаборант, ТОО «NFT-KATU», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Победа 62, тел.: 87476792932, e-mail: baboshina.lyudmila01@mail.ru.

Балджи Юрий Александрович – кандидат ветеринарных наук, профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», генеральный директор, ТОО «NFT-KATU», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Победа 62, тел.: 87019796798, e-mail: yu.balji@kazatu.edu.kz.

Аленова Меруерт Ергалиевна – докторант, 8D09102 – Мал шаруашылығы өнімдерінің санитарлық-экологиялық қауіпсіздігі білім беру бағдарламасы, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, "NFT-KATU" ЖШС аға зертханашысы, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ, Жеңіс даңғ 62, тел.: 87028876660, e-mail: meruert_ergalievna@mail.ru.

Мустафина Райхан Хусаиновна* – PhD, қауымдастырылған профессордың м.а., «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, "NFT-KATU" ЖШС аға ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ, Жеңіс даңғ 62, тел.: 87028043427; e-mail: Raihan1984@mail.ru.

Бабошина Людмила Дмитриевна – ветеринария маманы, "NFT-KATU" ЖШС зертханашысы, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ, Жеңіс даңғ 62, тел.: 87476792932, e-mail: baboshina.lyudmila01@mail.ru.

Балджи Юрий Александрович – ветеринария ғылымдарының кандидаты, профессор, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, «NFT-KATU» ЖШС бас директоры, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ, Жеңіс даңғ 62, тел.: 87019796798, e-mail: yu.balji@kazatu.edu.kz.

Alenova Meruyert Yergaliyevna – PhD student, "8D09102 – Sanitary and ecological safety of livestock products" educational program, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Senior Laboratory assistant, NFT-KATU LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Pobeda Ave., tel.: 87028876660, e-mail: meruert_ergalievna@mail.ru.

Mustafina Raikhan Khussainovna* – PhD, acting Associate Professor, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Senior Researcher, NFT-KATU LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Pobeda Ave., tel.: 87028043427, e-mail: Raihan1984@mail.ru.

Baboshina Lyudmila Dmitriyevna – Veterinary Specialist, Laboratory Assistant, NFT-KATU LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Pobeda Ave., tel.: 87476792932, e-mail: baboshina.lyudmila01@mail.ru.

Balji Yuriy Aleksandrovich – Candidate of Veterinary Sciences, Professor, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, General Director of NFT-KATU LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Pobeda Ave., tel.: 87019796798, e-mail: yu.balji@kazatu.edu.kz.

ХҒТАР 34.39.39

ӨОЖ 636.52 /58:612.12

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621014>

КАЗАҚ АҚБАС ТҰҚЫМЫ ТӨЛДЕРІНДЕ ҚАЛҚАНША БЕЗІ ГОРМОНДАРЫНЫҢ, АМИНОТРАНСФЕРАЗАЛАР БЕЛСЕНДІЛІГІНІҢ ЖӘНЕ ӨНІМДІЛІК ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСЫНА ЖЫНЫСТЫҢ ӨСЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Балабаев Б.К.* – биология ғылымдарының кандидаты, ветеринариялық медицина кафедрасының аға оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Ерғазина А.М. – PhD доктор, ветеринариялық медицина кафедрасы профессорының ассистенті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Кульпиисова А.А. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, ветеринариялық медицина кафедрасы профессорының ассистенті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Дюсебаева Д.А. – ветеринария ғылымдарының магистрі, арнайы пәндер оқытушысы, Қостанай облысы әкімдігі білім басқармасының «Қостанай ауыл шаруашылығы колледжі» КМҚК, Тобыл қ., Қазақстан Республикасы.

Ауылшаруашылық жануарларындағы метаболизм процестерін тиімді реттеу олардың өнімділік әлеуетін қалыптастыратын негізгі биологиялық факторлардың бірі болып табылады. Бұл үдерісте эндокриндік жүйе, әсіресе қалқанша безінің гормондары (Т3, Т4), жетекші рөл атқарады және организмдегі энергия мен ақуыз алмасуының бағытын анықтайды. Қанның биохимиялық мәртебесінің маңызды көрсеткіштері ретінде аминотрансферазалар – аспаратаминотрансфераза (АсАТ) және аланинаминотрансфераза (АлАТ) қарастырылады, олар метаболизм қарқындылығы мен бағытын көрсететін сенімді маркерлер болып табылады. АсАТ аминқышқылдарын трикарбон қышқылдары цикліне енгізу арқылы энергия түзілуіне қатысса, АлАТ глюконеогенез процестерін қамтамасыз етеді.

Зерттеудің мақсаты – қазақтың ақбас тұқымды жас малдарында (баспақтар мен бұқашықтар) қалқанша безі гормондары деңгейі, аминотрансферазалар белсенділігі және тірі салмақ өсімі арасындағы өзара байланысты жыныстық ерекшеліктер тұрғысынан салыстырмалы бағалау. Зерттеу 8, 15 және 18 айлық кезеңдерде жүргізілді.

Нәтижесінде баспақтарда Т3 деңгейі мен АсАТ белсенділігі арасында жоғары оң корреляция ($r=0,90$ дейін) анықталды, бұл энергия алмасуын реттеудегі Т3-тің маңызды рөлін көрсетеді. Бұқашықтарда анаболизм басым болып, Ритис коэффициентінің төмендеуі аминқышқылдарының глюконеогенезге бағытталуын көрсетті. Жалпы алғанда, баспақтардың өсуі эндокриндік реттеуге, ал бұқашықтардың өсуі пластикалық алмасуға тәуелді екені анықталды. Бұл нәтижелер жынысқа байланысты сараланған азықтандыру жүйелерін ғылыми негіздеуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: қазақ ақбас тұқымы, жас төл, жыныстық диморфизм, қалқанша безі гормондары, аминотрансферазалар, өнімділік қасиеттері.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОЛА НА СООТНОШЕНИЕ ГОРМОНОВ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, АКТИВНОСТИ АМИНОТРАНСФЕРАЗ И ПРОДУКТИВНЫХ КАЧЕСТВ У МОЛОДНЯКА КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОДЫ

Балабаев Б.К.* – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Ерғазина А.М. – доктор PhD, ассистент профессора кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Кульпиисова А.А. – кандидат ветеринарных наук, ассистент профессора кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Дюсебаева Д. А. – магистр ветеринарных наук, преподаватель специальных дисциплин, КГКП «Костанайский сельскохозяйственный колледж» Управления образования акимата Костанайской области, г. Тобол, Республика Казахстан.

Регуляция метаболических процессов у сельскохозяйственных животных является одним из ключевых биологических факторов, определяющих их продуктивный потенциал. В этом процессе ведущую роль играет эндокринная система, в частности гормоны щитовидной железы (Т3, Т4),

которые определяют направленность энергетического и белкового обмена в организме. Важными показателями биохимического статуса крови являются аминотрансферазы – аспартатамино-трансфераза (АсАТ) и аланинаминотрансфераза (АлАТ) – выступающие надёжными маркерами интенсивности и направленности метаболизма. АсАТ участвует в образовании энергии, обеспечивая включение аминокислот в цикл трикарбоновых кислот, тогда как АлАТ играет ключевую роль в процессах глюконеогенеза.

Целью исследования явилась сравнительная оценка взаимосвязи между уровнем гормонов щитовидной железы, активностью аминотрансфераз и приростом живой массы у молодняка казахской белоголовой породы (тёлки и бычков) с учётом половых особенностей. Исследования проводились в возрасте 8, 15 и 18 месяцев.

В результате установлено, что у тёлки наблюдается высокая положительная корреляция между уровнем Т3 и активностью АсАТ (до $r=0,90$), что свидетельствует о значимой роли Т3 в регуляции энергетического обмена. У бычков преобладали анаболические процессы, а снижение коэффициента де Ритиса указывало на направленность аминокислот в глюконеогенез. В целом установлено, что рост тёлки в большей степени зависит от эндокринной регуляции, тогда как у бычков – от пластического обмена. Полученные результаты могут служить основой для разработки дифференцированных систем кормления с учётом пола животных.

Ключевые слова: казахская белоголовая порода, молодняк, половой диморфизм, гормоны щитовидной железы, аминотрансферазы, продуктивные свойства.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SEX ON THE RELATIONSHIP OF THYROID HORMONES, AMINOTRANSFERASE ACTIVITY AND PRODUCTIVE QUALITIES IN YOUNG KAZAKH WHITE-HEADED BREED

Balabayev B.K.* – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Yergazina A.M. – PhD, Assistant Professor, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kulpiissova A.A. – Candidate of Veterinary Sciences, Assistant Professor, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Dyussebayeva D.A. – Master of Veterinary Sciences, Teacher of Special Disciplines, Kostanay Agricultural College of the Education Department of the Akim's office of the Kostanay region, Tobyl, Republic of Kazakhstan.

Regulation of metabolic processes in farm animals is one of the key biological factors determining their productive potential. The endocrine system, particularly thyroid hormones (T3, T4), plays a leading role in this process by controlling the direction of energy and protein metabolism. Important indicators of the biochemical status of blood include aminotransferases—*aspartate aminotransferase (AST)* and *alanine aminotransferase (ALT)* – which serve as reliable markers of metabolic intensity and orientation. AST participates in energy production by facilitating the entry of amino acids into the tricarboxylic acid cycle, whereas ALT is involved in gluconeogenesis.

The research objective was to comparatively assess the relationship between thyroid hormone levels, aminotransferase activity, and live weight gain in young Kazakh White-Headed cattle (heifers and bull-calves), taking into account sex-related characteristics. The study was conducted at the ages of 8, 15, and 18 months.

The results revealed a strong positive correlation (up to $r = 0.90$) between T3 levels and AST activity in heifers, indicating the key role of T3 in regulating energy metabolism. In bull-calves, anabolic processes predominated, and a decrease in the De Ritis ratio indicated a shift of amino acids toward gluconeogenesis. Overall, growth in heifers was more dependent on endocrine regulation, whereas in bull-calves it was associated with constructive metabolic processes. These findings provide a scientific basis for developing sex-specific feeding strategies.

Keywords: Kazakh White-Headed breed, young stock, sexual dimorphism, thyroid hormones, aminotransferases, productive qualities.

Кіріспе. Ірі қара малдың жас төлінің метаболикалық мәртебесі оның генетикалық енетін өнімділік әлеуетін айқындайтын шешуші фактор болып табылады [1, б. 1189; 2, б. 2593; 5, б. 330]. Эндокриндік реттеу механизмдерін, оның ішінде қалқанша безі гормондарының рөлін және олардың аминотрансферазалар сияқты ферменттік жүйелермен байланысын зерттеу ерекше қызығушылық тудырады. Аспартат және аланинаминотрансферазалардың (АсАТ және АлАТ) белсенділігі ақуыздық және энергетикалық алмасудың бағдарын көрсететін нәзік индикатор ретінде қызмет етеді, яғни аминқышқылдарының энергия алу үшін немесе пластикалық процестерге қатысуының жолдарын ажыратады [3, б. 96; 4, б. 12060]. Бұл көрсеткіштердің өсуге әсері туралы деректер кең таралғанына қарамастан, қазақ ақбас баспақтары мен бұқашықтарында етті төлдерде мұндай өзара байланыстардың жыныстық ерекшеліктері мәселесі аз зерттелген болып қала береді [8, б. 106510]. Метаболизмді гормоналды-ферменттік

реттеудің жыныстық айырмашылықтарын анықтау өсу физиологиясын түсіну үшін теориялық маңызға ие болумен қатар, ремонттық жас төлді өсірудің дифференциалданған технологияларын әзірлеуге тікелей практикалық құндылыққа ие. Осы жұмыстың мақсаты қазақ ақбас тұқымының баспақтары мен бұқашықтарында емізуден кейінгі кезеңде жыныстық қалқанша безінің гормондарының арақатынасына, аминотрансферазалар белсенділігіне және олардың өсу көрсеткіштерімен байланысына әсерін салыстырмалы талдау жүргізу болып табылады [6, б. 587; 7, б. 148].

Мақсат, міндеттер. Қазақ ақбас тұқымының ремонттық бұқашықтары мен баспақтарының өсу кезеңінде (8, 15, 18 айлық) жыныс факторының тиреоидты гормондар (Т3, Т4) деңгейіне, аминотрансферазалар (АсАТ, АлАТ) белсенділігіне және олардың тірі салмақ өсімімен өзара байланысына әсерін салыстырмалы түрде зерттеу.

Міндеттері:

- тұқымның баспақтары мен бұқашықтарында тірі салмақ пен аминотрансферазалар (АсАТ, АлАТ) белсенділігінің жас өзгеру динамикасын анықтау;
- баспақтар қанындағы тиреоидты гормондар (тироксин және трийодтиронин) деңгейінің жас өзгеру динамикасын және олардың тірі салмақ өсімімен байланысын зерттеу;
- бұқашықтар мен баспақтардың тірі салмақ өсімі мен аминотрансферазалар белсенділігі арасындағы корреляциялық байланыстарды анықтау және жыныс бойынша салыстыру;
- жас өзгеру динамикасы мен өнімділік көрсеткіштері бойынша жыныстық ерекшеліктерді анықтау;
- зерттеу нәтижелері негізінде жас малды өсіру кезінде жыныс ерекшеліктерін ескеретін ғылыми-тәжірибелік ұсыныстар беру.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер 2025 жылы «Олжа-Агро» ЖШС мал фермасы (Қазақстан Республикасы, Қостанай облысы Меңдіқара ауданы, Будённый ауылы) және «Агроинновация» ҒӨО ЖШС зертханасы негізінде орындалды.

Зерттеу нысаны қазақтың ақбас тұқымды баспақтары мен бұқашықтары болды. Әр жыныс үшін үш жас тобы құрылды (әрқайсысында $n=10$): енелердің емізуінен алынғаннан кейінгі өсіру кезеңіндегі 8, 15 және 18 айлық жануарлар.

Зерттеу материалы қан. Баспақтардың қанында енесінен айырылғаннан кейінгі өсіру кезеңіндегі тірі салмақ өсімінің қалқанша безі гормондары деңгейі мен аминотрансферазалар белсенділігімен жасқа байланысты өзара байланысы зерттелді. Бұқашықтарда аминотрансферазалар белсенділігі зерттеліп, тірі салмағы тіркелді.

Талдау үшін коммерциялық реагенттер жиынтықтары («Витал Девелопмент Корпорэйшн», «Эко-сервис») қолданылды.

Деректерді статистикалық өңдеу «Microsoft Excel» және «Биометрия» бағдарламалық жасақтамасын қолдана отырып, вариациялық статистика әдістерімен жүргізілді.

Нәтижелері және талқылау.

1. Баспақтардағы қалқанша безінің гормондары мен аминотрансферазаларының байланысы

Енесінен айырылғаннан кейінгі кезеңде бірдей қоректендіру және ұстау жағдайларында ремонттық баспақтар 15 айлығында $325,77 \pm 1,69$ кг, ал 18 айлығында $388,90 \pm 1,71$ кг тірі салмаққа жетті (1 кесте), бұл қазақ ақбас тұқымының 1-сынып стандартынан асады. Өсу қарқыны жануарлар организмнің физиологиялық жағдайымен тығыз байланысты, оған қанның морфологиялық және биохимиялық құрамы [5, б. 362] және генетикалық әлеуетті іске асыратын молекулалық құралдар болып табылатын, жануарлардың өсу жылдамдығын анықтайтын ақуыздардың деңгейі бойынша баға беруге болады [9, б. 928].

1 кесте – Баспақтардағы тірі салмақтың аминотрансфераза белсенділігімен корреляция коэффициенттері, $X \pm SX$ ($n=10$)

Көрсеткіш	Баспақтардың жасы, ай		
	8 (I топ)	15 (II топ)	18 (III топ)
Тірі салмағы, кг	$195,63 \pm 1,34$	$325,77 \pm 1,69^{***}$	$388,90 \pm 1,71^{***}$
АсАТ, ммоль/сағ·мл	$1,29 \pm 0,08$	$1,57 \pm 0,06^*$	$1,25 \pm 0,03$
АлАТ, ммоль/сағ·мл	$0,89 \pm 0,07$	$1,01 \pm 0,06$	$1,09 \pm 0,02^*$
АсАТ/АлАТ, ш.б.	$1,45 \pm 0,06$	$1,55 \pm 0,05$	$1,15 \pm 0,02^{***}$

Ескерту: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$ I тобына қатысты

Тірі салмақ пен АсАТ арасында сызықты емес тәуелділік байқалады: салмақ 326 кг-ға дейін артқанда АсАТ белсенділігі жоғарылайды, бірақ салмақтың одан әрі өсуімен (389 кг-ға дейін) төмендейді. Бұл интенсивті метаболизмнің ауысу кезеңі мен кейінгі тұрақтануды көрсетуі мүмкін.

Тірі салмақ пен АлАТ арасында орташа оң корреляция бар: салмақ пен жастың өсуімен ферменттің белсенділігі жоғарылайды, бұл ақуыз алмасуының белсендеуін көрсетеді.

Де Ритис коэффициентінің кеш кезеңде тірі салмаққа кері тәуелділігі бар: салмақ неғұрлым жоғары (және жануар соғұрлым ересек) болса, АсАТ/АлАТ қатынасы соғұрлым төмен, бұл цитоплазмалық реакциялар үшін митохондриялды реакциялардың үлесінің төмендеуін көрсетеді.

Сонымен, интенсивті өсу кезеңінде (15 айға дейін) АсАТ белсенділігі және де Ритис коэффициенті жоғарылайды, бұл тіндер алмасуының жоғары деңгейіне байланысты, ал жетілгеннен кейін (18 айдан кейін) АсАТ белсенділігі төмендейді, ал АлАТ жоғарылайды, бұл бауырдағы алмасу процестерінің тұрақтануын көрсетеді.

Қалқанша безі гормондары жануарлардың өсуін реттеуге елеулі үлес қосады [1, б. 1192; 8, б. 106510; 6, б. 114904]. 2-кестедегі мәліметтерге сәйкес, қандағы тироксиннің ең жоғары концентрациясы 8 айлық жануарларда тіркелді, ал 18 айға қарай бұл көрсеткіш 31,14%-ға төмендеді ($p \leq 0,001$). Ал трийодтиронинге (T_3) келетін болсақ, оның қандағы мөлшері жасқа анық тәуелді болмады және $2,63 \pm 0,13$ пен $3,76 \pm 0,17$ нмоль/л аралығында өзгерді. Бұл гормонның ең төменгі деңгейі 15 айлық баспақтарда байқалса, ең жоғарғысы 18 айлықтарда анықталды.

2 кесте – Баспақардың қанындағы қалқанша безі гормондарының деңгейі, $X \pm Sx$ ($n = 10$)

Көрсеткіш	Баспақтардың жасы, ай		
	8 (I топ)	15 (II топ)	18 (III топ)
Тироксин, нмоль/л	$53,83 \pm 0,86$	$44,20 \pm 1,92^{***}$	$37,07 \pm 1,68^{***}$
Трийодтиронин, нмоль/л	$3,09 \pm 0,07$	$2,63 \pm 0,13^*$	$3,76 \pm 0,17^*$
T_4/T_3 , ш.б.	$17,42 \pm 0,39$	$16,81 \pm 1,05$	$9,86 \pm 0,57^{***}$

Ескерту: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$ I топқа қатысты

Тироксиннің трийодтиронинге айналу жылдамдығы (T_4/T_3) баспақтардың өсу барысында, қалқанша безі белсенділігінің жоғарылауы нәтижесінде артты. Біздің зерттеу нәтижелері [11, б. 297-300; 12, б. 233] деректерімен сәйкес келеді.

Жануарлар қанындағы тиреоидты гормондардың жастық динамикасы олар организмдегі энергетикалық және пластикалық алмасу ерекшеліктерін көрсетеді [1, б. 95-96; 2, б. 105089; 10, б. 1296], белгілер арасындағы корреляцияларды анықтайды (3 кесте):

3 кесте – Баспақтардың қалқанша безі гормондарының тірі салмақпен корреляциясы, $X \pm Sx$ ($n=10$)

Көрсеткіш	Баспақтардың жасы, ай		
	8 (I топ)	15 (II топ)	18 (III топ)
Тірі салмақ, кг	$195,63 \pm 1,34$	$325,77 \pm 1,69^{***}$	$388,90 \pm 1,71^{***}$
Тироксин, нмоль/л	$-0,09 \pm 0,35$	$-0,33 \pm 0,33$	$-0,76 \pm 0,23^*$
Трийодтиронин, нмоль/л	$-0,21 \pm 0,35$	$-0,47 \pm 0,31$	$-0,51 \pm 0,30$
T_4/T_3 , ш.б.	$0,69 \pm 0,25^*$	$0,83 \pm 0,19^*$	$0,77 \pm 0,22^*$

Ескерту: * – $p \leq 0,05$

1. Қандағы гормондар деңгейі мен жануарлардың тірі салмағы арасындағы корреляциялық байланыстар теріс болды. Демек, тиреоидты гормондар баспақтардың өсу және даму процестеріне жанама әсер етті.

2. Зерттелетін белгілер арасындағы байланыс күші жастың өсуімен біркелкі артып, 18 айлық жануарларда максимумға жетті, бұл қалқанша безінің функционалды белсенділігі мен өсу жылдамдығының сәйкестігін көрсетті.

3. Тірі салмақ, баспақтардың жасына қарамастан, T_4/T_3 шамасымен сенімді түрде корреляциялық байланысқа ие болды. Демек, тірі салмақтың өсуі мен гормондардың биологиялық әсері олардың био-конверсиясының белсенділігімен тікелей байланысты болды.

Осылайша, енесінен айырылғаннан кейінгі кезеңдегі тірі салмақтың жастық өсімі мен бос аминқышқылдарының алмасуы негізінен АсАТ қатысуымен жүреді, бұл олардың ағзаның энергия шығындарын өтеу үшін пайдаланылуын қамтамасыз етеді, әсіресе белсенді түрде 15 айлық жаста.

Тірі салмақтың өсуі мен ақуыз алмасуы деңгейі баспақтар қанындағы тиреоидты гормондар концентрациясымен тығыз байланысты. Бұл ретте тироксин концентрациясы жастың өсуімен азаяды, ал оның айналу жылдамдығы, T_4/T_3 қатынасы бойынша бағаланатын болса, артады. Бұл шама енесінен айырылғаннан кейінгі кезеңде тірі салмақпен $0,69 \pm 0,25$ – $0,83 \pm 0,19$ деңгейінде сенімді корреляциялық байланысқа ие болды.

2. Бұқашықтарда аминотрансферазалар мен қалқанша безі гормондарының тірі салмақпен жастық динамикасы

Жануарлар организмнің тіршілік әрекеті процестерінің негізін мүшелер мен тіндерде жүретін жасушалық метаболизмдік процестер құрайды. Осы процестердің қарқындылығы қанның биохимиялық құрамында көрініс табады [2, б. 105089; 3, б. 87], ол өз кезегінде жануарлардың өнімділігімен корреляциялық байланысқа ие [7, б. 518; 11, б. 297-300; 14, б. 330].

Ағзаның метаболикалық статусын бағалаудың критерийлерінің бірі – қандағы ферменттер концентрациясын анықтау болып табылады. Осы контексте ең кең практикалық қолданыс аспартаминотрансфераза (АсАТ) пен аланинаминотрансферазаға (АлАТ) тап болды. Бұл ферменттер аминқышқылдары алмасуында шешуші рөл атқарады: АсАТ аминқышқылдарын үшкарбонды қышқылдар цикліне тартуды қамтамасыз етеді, онда олар энергия көзі ретінде пайдаланылады, ал АлАТ глюконеогенез процесіне қатысады, онда аминқышқылдары глюкоза синтезі үшін субстрат ретінде қызмет етеді [15, б. 15-17].

Бұқашықтарда зерттелетін параметрлердің анық жастық динамикасы анықталды (4 кесте). Баспақтардағыдай, тірі салмақ жастың өсуімен сенімді түрде артып, тұқымның I сынып стандарттарынан асты. Аминотрансферазалардың екеуінің де белсенділігі 8 айда минималды болып, 15 айда шыңына жетті, бұл осы кезеңде метаболизмнің қарқындауын көрсетеді.

4 кесте – Бұқашықтардағы тірі масса мен аминотрансфераза белсенділігінің жастық динамикасы, $X \pm Sx$ ($n=10$)

Көрсеткіш	8 ай (I топ)	15 ай (II топ)	18 ай (III топ)
Тірі салмақ, кг	214,70 $\pm$ 0,92	387,55 $\pm$ 2,14***	452,18 $\pm$ 1,82***
АсАТ, ммоль/ч сағ	1,78 $\pm$ 0,11	2,76 $\pm$ 0,15***	2,58 $\pm$ 0,11***
АлАТ, ммоль/ч сағ	1,14 $\pm$ 0,08	2,28 $\pm$ 0,08***	1,98 $\pm$ 0,12***
АсАТ/АлАТ	1,56 $\pm$ 0,19	1,21 $\pm$ 0,08	1,30 $\pm$ 0,11

Ескерту: *** – $p \leq 0,001$ I топқа қатысты*

Метаболизм бағытының өзгеруінің негізгі көрсеткіші АсАТ/АлАТ қатынасы (де Ритис коэффициенті) болды. 8 айда оның мәні ең жоғары (1,56) болды, бұл өсіп келе жатқан ағзаның энергиямен қамтамасыз етілуі үшін аминқышқылдарын негізінен Кребс циклінде пайдалануды көрсетеді. 15 айда АлАТ белсенділігінің көбірек өсуіне байланысты коэффициент 22,4%-ға сенімді түрде төмендеді. Бұл метаболизмнің глюконеогенезді күшейту бағытына ауысуын көрсетеді, онда аминқышқылдары энергетикалық қажеттіліктер үшін ғана емес, сонымен қатар глюкоза синтезі және анаболикалық процестер үшін қалпына келтіруші эквиваленттерді (NADPH) қамтамасыз ету сияқты пластикалық қажеттіліктер үшін де белсендірек пайдаланыла бастайды [15, б. 18-20].

Сынақ топтарындағы бұқашықтардың тірі салмағының жоспарлы өсімі өсіру кезеңіндегі технологиялық процестердің қалыпты жүріп жатқанын көрсетеді. 8 айлық бұқашықтар тобында ол 214,7 $\pm$ 0,92 кг құрады, ал 18 айлықтарда 452,18 $\pm$ 1,82 кг болды.

Бұқашықтардағы гормондар мен тірі салмақ арасындағы корреляция коэффициенттерінің жастық динамикасын талдауда біз осы белгілердің өзара байланысы жануарлардың геномдық деңгейде де, жасушалық деңгейде де генетикалық әлеуетін іске асыруды сипаттайды деген тұжырымнан шықты. Корреляцияның келесі ерекшеліктерін анықтадық (5 кесте).

5 кесте – Бұқашықтардың қалқанша безі гормондарының тірі салмақпен корреляциясы, $X \pm Sx$ ($n=10$)

Көрсеткіш	Бұқашықтардың жасы, ай		
	8 (I топ)	15 (II топ)	18 (III топ)
Тірі салмақ, кг	214,70 $\pm$ 0,92	387,55 $\pm$ 2,14***	452,18 $\pm$ 1,82***
Трийодтиронин, нмоль/л	-0,58 $\pm$ 0,28	-0,69 $\pm$ 0,24*	-0,90 $\pm$ 0,15***
Тироксин, нмоль/л	-0,14 $\pm$ 0,35	-0,90 $\pm$ 0,15***	-0,37 $\pm$ 0,32
T ₄ /T ₃ , ш.б.	-0,15 $\pm$ 0,35	-0,96 $\pm$ 0,10***	-0,05 $\pm$ 0,35

Ескерту: * – $p \leq 0,05$; *** – $p \leq 0,001$

1. Қандағы тиреоидты гормондар деңгейі мен бұқашықтардың тірі салмағы арасындағы байланыстар тек теріс болды. Демек, гормондар ремонттық бұқашықтардың өсу және даму процестеріне жанама әсер етіп, дене салмағының өсу жылдамдығын анықтады.

2. Корреляция коэффициенттерінің ең жоғары мәндері T₃–тірі салмақ жұбында анықталды (0,58 $\pm$ 0,28-ден 0,90 $\pm$ 0,15-ке дейін, $p \leq 0,001$). Демек, бұқашықтар организміндегі өсу процестеріне тиреоидты гормондардың биологиялық әсері трийодтирониннің биологиялық әрекеті есебінен іске асырылды.

3. Зерттелетін белгілердің ең жоғары корреляциялық байланысы 15 айлық бұқашықтардың организмінде, яғни жыныстық жетілу кезеңінде болды. Демек, осы жаста қалқанша безінің функционалды белсенділігі бұқашықтардың тірі салмағына және мүшелер мен тіндердің жасушаларының метаболикалық белсенділік деңгейіне ең жоғары дәрежеде сәйкес келді.

Осылайша, қазақ ақбас тұқымының ремонттық бұқашықтарының организмінде енесінен айырылғаннан кейінгі кезеңдегі өсу процестеріне тиреоидты гормондардың әсері трийодтирониннің биология-

лық әсерлерімен анықталады. Тиреоидты гормондардың деңгейі, сондай-ақ T_4 -тің T_3 -ке айналу жылдамдығы, T_4/T_3 қатынасы бойынша бағаланатын болса, 15 айлық бұқашықтар организміндегі тірі салмақ өсімінің қарқындылығына, яғни жыныстық жетілу кезеңіне сәйкес келеді.

Салыстырмалы талдау және қорытындылар:

Жүргізілген зерттеулер қазақ ақбас тұқымының жас төлдерінде метаболизмді реттеудің жалпы заңдылықтарын да, жыныстық ерекшеліктерін де анықтады.

Жалпы сипаттама ретінде аминотрансферазалар белсенділігінің жастан тәуелділігі, оның 15 айда максимумға жетуі айтылады, бұл өсу мен дамудың қарқынды кезеңімен корреляция жасайды.

Негізгі айырмашылық метаболизмді реттеу сипатында жатыр. Баспақтарда күшті гормондық тәуелділік, атап айтқанда T_3 деңгейі мен АсАТ белсенділігі арасындағы тікелей корреляция анықталды. Бұл T_3 -ті митохондриялардағы тотығу үшін аминқышқылдарын бағыттайтын энергетикалық метаболизмнің маңызды реттеушісі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Гормондық статусы анықталмаған, бірақ тірі салмақ өсімінің жоғары жылдамдығы тіркелген бұқашықтарда метаболизм анаболизмнің айқынырақ құрамдас бөлігімен сипатталады. Де Ритис коэффициентінің жастың өсуімен төмендеуі аминқышқылдарын глюконеогенез және синтетикалық процестер үшін пайдаланудың күшеюін көрсетеді, бұл, мүмкін, бұлшықеттердің белсенді өсуімен байланысты.

Сонымен, қазақ ақбас тұқымының ремонттық бұзауларында метаболизмдік белсенділік негізінен энергия түзетін жолдарды реттейтін тиреоидты гормондардың (әсіресе T_3) бақылауында болады деп қорытынды жасауға болады. Бұқаларда қарқынды анаболизм мен бұлшықет тінінің өсуімен байланысты процестер басым болады, бұл де Ритис коэффициентінің жастық динамикасында көрінеді. Алынған деректер жас төлдің өнімділік қасиеттерін оңтайландыру мақсатында жынысына қарай әртүрлендірілген қоректендіру және ұстау стратегияларын әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. **Chen Q., Liu X., Wang Z., et al. Elevated thyroid hormones caused by high concentrate diets participate in hepatic metabolic disorders in dairy cows** [Текст] / Q. Chen, X. Liu, Z. Wang [и др.] // *Animal Bioscience*. – 2022. – Vol. 35, № 8. – P. 1185–1194.
2. **Piccione G., Liotta L., Lopreiato V., et al. Thyroid hormone profile and its relationship with energy metabolites in dairy cows during the transition period** [Текст] / G. Piccione, L. Liotta, V. Lopreiato [и др.] // *Research in Veterinary Science*. – 2024. – Vol. 166. – P. 105089.
3. **Tóthová C., Nagy O., Kováč G. Serum proteins and their diagnostic utility in veterinary medicine: a review** [Текст] / C. Tóthová, O. Nagy, G. Kováč // *Veterinárni medicína*. – 2016. – Vol. 61, № 2. – P. 85–103.
4. **Agovino M., Tríbulo P., Rocha N. S., et al. Thyroid hormone and insulin concentrations during the transition period in dairy cows** [Текст] / M. Agovino, P. Tríbulo, N. S. Rocha [и др.] // *Journal of Dairy Science*. – 2021. – Vol. 104, № 11. – P. 12055–12067.
5. **Mullur R., Liu Y. Y., Brent G. A. Thyroid hormone regulation of metabolism** [Текст] / R. Mullur, Y. Y. Liu, G. A. Brent // *Physiological Reviews*. – 2014. – Vol. 94, № 2. – P. 355–382.
6. **Huszenicza G., Kulcsar M., Fébel H., et al. Nutritional effects on thyroid hormones and glucose metabolism in ruminants** [Текст] / G. Huszenicza, M. Kulcsar, H. Fébel [и др.] // *Animal Feed Science and Technology*. – 2021. – Vol. 276. – P. 114904.
7. **Kirovski D., Djokovic R., Cincovic M. R., et al. Thyroid hormones and their relationship with metabolic profile in early lactating dairy cows** [Текст] / D. Kirovski, R. Djokovic, M. R. Cincovic [и др.] // *Acta Veterinaria*. – 2022. – Vol. 72, № 2. – P. 145–158.
8. **Ropstad E., Bentsen H., Froyland L., et al. Endocrine and metabolic adaptations in dairy cows during the transition period** [Текст] / E. Ropstad, H. Bentsen, L. Froyland [и др.] // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2021. – Vol. 74. – P. 106510.
9. **Kaneko J. J., Harvey J. W., Bruss M. L. Clinical Biochemistry of Domestic Animals** [Текст] / J. J. Kaneko, J. W. Harvey, M. L. Bruss. – 6th ed. – San Diego: Academic Press, 2008. – 928 p.
10. **Nelson D. L., Cox M. M. Lehninger Principles of Biochemistry** [Текст] / D. L. Nelson, M. M. Cox. – 7th ed. – New York: W. H. Freeman, 2017. – 1296 p.
11. **Piccione G., Casella S., Giannetto C., et al. Influence of age on serum thyroid hormones and cholesterol levels in Holstein calves** [Текст] / G. Piccione, S. Casella, C. Giannetto [и др.] // *Journal of Applied Animal Research*. – 2017. – Vol. 45, № 1. – P. 297–300.
12. **Sartin J. L., Whitlock B. K., Daniel J. A. Hormonal regulation of metabolism in ruminants** [Текст] / J. L. Sartin, B. K. Whitlock, J. A. Daniel // *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. – 2016. – Vol. 32, № 2. – P. 229–244.
13. **Yanibada B., Hohenester U., Pétéra M., et al. Effect of feed restriction on metabolic and hormonal profiles in beef cattle** [Текст] / B. Yanibada, U. Hohenester, M. Pétéra [и др.] // *Journal of Animal Science*. – 2020. – Vol. 98, № 8. – P. skaa246.
14. **Todini L. Thyroid hormones in small ruminants: effects of endogenous, environmental and nutritional factors** [Текст] / L. Todini // *Animal*. – 2019. – Vol. 13, № 2. – P. 326–334.

15. **Бабич В.В., Стегний Б.Т., Олексік О.М. Динаміка активності амінотрансфераз та тиреоїдних гормонів у крові молодняка великої рогатої худоби в онтогенезі** [Текст] / В.В. Бабич, Б.Т. Стегний, О.М. Олексік // Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. – 2021. – Т. 23, № 103. – С. 15–20.

REFERENCES:

1. **Chen Q., Liu X, Wang Z., et al. Elevated thyroid hormones caused by high concentrate diets participate in hepatic metabolic disorders in dairy cows.** *Anim Biosci.*, 2022, vol. 35, no. 8, pp. 1185–1194.
2. **Piccione G., Liotta L., Lopreiato V., et al. Thyroid hormone profile and its relationship with energy metabolites in dairy cows during the transition period.** *Res Vet Sci.*, 2024, vol. 166, art. 105089.
3. **Tóthová C., Nagy O., Kováč G. Serum proteins and their diagnostic utility in veterinary medicine: a review.** *Vet Med (Praha).*, 2016, vol. 61, no. 2, pp. 85–103.
4. **Agovino M., Tríbulo P., Rocha N.S., et al. Thyroid hormone and insulin concentrations during the transition period in dairy cows.** *J Dairy Sci.*, 2021, vol. 104, no. 11, pp. 12055–12067.
5. **Mullur R., Liu Y.Y., Brent G.A. Thyroid hormone regulation of metabolism.** *Physiol Rev.* 2014, vol. 94, no. 2, pp. 355–382.
6. **Huszenicza G., Kulcsar M., Fébel H., et al. Nutritional effects on thyroid hormones and glucose metabolism in ruminants.** *Anim Feed Sci Technol.*, 2021, vol. 276, art. 114904.
7. **Kirovski D., Djokovic R., Cincovic M.R., et al. Thyroid hormones and their relationship with metabolic profile in early lactating dairy cows.** *Acta Vet (Beogr).*, 2022, vol. 72, no. 2, pp. 145–158.
8. **Ropstad E., Bentsen H., Froyland L., et al. Endocrine and metabolic adaptations in dairy cows during the transition period.** *Domest Anim Endocrinol.*, 2021, vol. 74, art. 106510.
9. **Kaneko J.J., Harvey J.W., Bruss M.L.** Clinical biochemistry of domestic animals, 6th ed., San Diego, Academic Press, 2008.
10. **Nelson D.L., Cox M.M.** Lehninger principles of biochemistry, 7th ed., New York, W.H. Freeman, 2017.
11. **Piccione G., Casella S., Giannetto C., et al. Influence of age on serum thyroid hormones and cholesterol levels in Holstein calves.** *J Appl Anim Res.*, 2017, vol. 45, no. 1, pp. 297–300.
12. **Sartin J.L., Whitlock B.K., Daniel J.A. Hormonal regulation of metabolism in ruminants.** *Vet Clin North Am Food Anim Pract.*, 2016 vol. 32, no. (2), pp. 229–244.
13. **Yanibada B., Hohenester U., Pétera M, et al. Effect of feed restriction on metabolic and hormonal profiles in beef cattle.** *J Anim Sci.*, 2020, vol. 98, no. 8, art. skaa246.
14. **Todini L. Thyroid hormones in small ruminants: effects of endogenous, environmental and nutritional factors.** *Animal*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 326–334.
15. **Babich V.V., Stegnii B.T., Oleksik O.M. Dinamika aktivnosti aminotransferaz ta tireoidny'h hormoniv u krovі molodniaka velikoj rohatoj hudoby' v ontohenezi.** *Nauk Visn LNUVMB im. S.Z. Gzhytskoho*, 2021, vol. 23, no. 103, pp. 15–20. (In Ukrainian)

Авторлар туралы мәліметтер:

Балабаев Булат Кабланович* – биология ғылымдарының кандидаты, ветеринарлық медицина кафедрасының аға оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов көш, 47., тел.: 87777958592, e-mail: bol1683@mail.ru.

Ергазина Асель Михайловна – PhD докторы, ветеринарлық медицина кафедрасы профессорының ассистенті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов көш, 47., тел.: 87773760076, e-mail: ergazina.asel@mail.ru.

Кульпиисова Алтын Амантаевна – ветеринария ғылымдарының кандидаты, ветеринарлық медицина кафедрасы профессорының ассистенті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов көш, 47., тел.: 87077659312, e-mail: altyn977@mail.ru.

Дюсебаева Дина Акылбековна – ветеринария ғылымдарының магистрі, арнайы пәндер оқытушысы, Қостанай облысы әкімдігі білім басқармасының «Қостанай ауыл шаруашылығы колледжі» КМҚК, Қазақстан Республикасы, 111100, Қостанай облысы., Тобыл қ., Терешкова 15/4, тел.: 87759048913, e-mail: dino4ka2989@mail.ru.

Балабаев Булат Кабланович* – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтұрсынова 47, тел.: 87777958592, e-mail: bol1683@mail.ru.

Ергазина Асель Михайловна – PhD, ассистент профессора кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтұрсынова 47, тел.: 87773760076, e-mail: ergazina.asel@mail.ru.

Кульпиисова Алтын Амантаевна – кандидат ветеринарных наук, ассистент профессора кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтұрсынова 47, тел.: 87077659312, e-mail: altyn977@mail.ru.

Дюсебаева Дина Акылбековна – магистр ветеринарных наук, преподаватель специальных дисциплин, КГКП «Костанайский сельскохозяйственный колледж» управления образования акимата Костанайской области, Республика Казахстан, 111100, Костанайская область, г. Тобыл, Терешковой 15/4, тел.: 87759048913, e-mail: dino4ka2989@mail.ru.

Balabayev Bulat Kablanovich* – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., tel.: 87777958592, e-mail: bol1683@mail.ru.

Yergazina Assel Mikhailovna – PhD, Assistant Professor, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., tel.: 87773760076, e-mail: ergazina.asel@mail.ru.

Kulpiisova Altyn Amantayevna – Candidate of Veterinary Sciences, Assistant Professor, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., tel.: 87077659312, e-mail: altyn977@mail.ru.

Dyussebayeva Dina Akybekovna – Candidate of Biological Sciences, Teacher of Special Disciplines, Kostanay Agricultural College MSOPE of the Department of education of the Akim's office of the Kostanay region, Republic of Kazakhstan, 111100, Kostanay region, Tobyl, 15/4 Tereshkova Str., tel.: 87759048913, e-mail: dino4ka2989@mail.ru.

МРНТИ 68.41.31

УДК 619:614.94

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621021>

МОНИТОРИНГ ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО ОБЪЕКТА, СОВМЕСТНО С ПРОТОКОЛОМ ANIMAL WELFARE QUALITY

Елеусизова А.Т.* – PhD, ассоциированный профессор кафедры ветеринарной санитарии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Кауменов Н.С. – кандидат ветеринарных наук ассоциированный профессор кафедры ветеринарной санитарии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Батырбеков А.Н. – кандидат ветеринарных наук, ассоциированный профессор кафедры ветеринарной санитарии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Дюсембеков С.К. – магистр ветеринарных наук, преподаватель кафедры ветеринарной санитарии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В современном животноводстве обеспечение благополучия животных (Animal Welfare) становится одним из ключевых направлений устойчивого развития отрасли. Международные стандарты, разработанные OIE и другими организациями, акцентируют внимание на необходимости строгого контроля условий содержания, включая параметры микроклимата. Нарушения микроклимата могут приводить к росту заболеваемости среди животных, снижению качества продукции и экономическим потерям. Ветеринарно-санитарный мониторинг микроклимата рассматривается как важный инструмент обеспечения соответствия международным стандартам Welfare. В статье представлены результаты ветеринарно-санитарного мониторинга и оценки уровня благополучия крупного рогатого скота на базе современного животноводческого комплекса. Исследование базируется на интеграции классических методов санитарного контроля с международным протоколом Welfare Quality®. В ходе работы была проведена оцифровка данных по критическим точкам контроля (ККТ), включая параметры микроклимата, гигиену контроля и этологический статус животных. Применение данного подхода позволило выявить скрытые технологические риски, которые не обнаруживаются при традиционном ветеринарном осмотре. Подчеркивается практическая значимость внедрения таких технологий для профилактики заболеваний, повышения эффективности производства и укрепления позиции отечественной продукции на мировом рынке. Таким образом, ветеринарно-санитарный мониторинг животных становится стратегическим направлением развития современного животноводства.

Ключевые слова: ветеринарно-санитарный мониторинг, микроклимат, Welfare, международные стандарты.

ANIMAL WELFARE QUALITY ХАТТАМАСЫМЕН БІРЛЕСКЕН МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ НЫСАНЫНЫҢ ВЕТЕРИНАРИЯЛЫҚ-САНИТАРИЯЛЫҚ ЖАЙ-КҮЙІН МОНИТОРИНГІЛЕУ

Елеусизова А.Т.* – PhD, ветеринариялық санитария кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ, Қазақстан Республикасы.

Кауменов Н.С. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, ветеринариялық санитария кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ, Қазақстан Республикасы.

Батырбеков А.Н. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, ветеринариялық санитария кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ, Қазақстан Республикасы.

Дюсембеков С.К. – ветеринария ғылымдарының магистрі, ветеринариялық санитария кафедрасының оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ, Қазақстан Республикасы.

Қазіргі мал шаруашылығында жануарлардың әл-ауқатын (Animal Welfare) қамтамасыз ету саланың тұрақты дамуының негізгі бағыттарының біріне айналууда. WOAH (OIE) және басқа да ұйымдар әзірлеген халықаралық стандарттар ұстау жағдайларын, соның ішінде микроклимат параметрлерін қатаң бақылау қажеттілігіне баса назар аударады. Микроклиматтың бұзылуы жануарлар арасында аурушаңдықтың артуына, өнім сапасының төмендеуіне және экономикалық шығындарға әкелуі мүмкін. Ветеринариялық-санитариялық мониторинг Welfare халықаралық стандарттарына сәйкестікті қамтамасыз етудің маңызды құралы ретінде қарастырылады.

Мақалада заманауи мал шаруашылығы кешені базасында ірі қара малдың ветеринариялық-санитариялық мониторингі мен әл-ауқаты деңгейін бағалау нәтижелері ұсынылған. Зерттеулер санитариялық бақылаудың классикалық әдістерін Welfare Quality® халықаралық хаттамасымен біріктіруге негізделген. Жұмыс барысында бақылаудың маңызды нүктелері (БМН), соның ішінде микроклимат параметрлері, бақылау гигиенасы және жануарлардың этологиялық мәртебесі бойынша мәліметтерді цифрландыру жүргізілді. Бұл тәсілді қолдану дәстүрлі ветеринариялық тексеру кезінде анықталмайтын жасырын технологиялық тәуекелдерді анықтауға мүмкіндік берді. Мұндай технологияларды енгізудің аурулардың алдын алу, өндіріс тиімділігін арттыру және отандық өнімнің әлемдік нарықтағы позициясын нығайту үшін практикалық маңыздылығы атап өтіледі. Осылайша, жануарлардың ветеринариялық-санитариялық мониторингі қазіргі мал шаруашылығын дамытудың стратегиялық бағытына айналууда.

Түйінді сөздер: ветеринариялық-санитариялық мониторинг, микроклимат, Welfare, халықаралық стандарттар.

MONITORING THE VETERINARY AND SANITARY CONDITION OF A LIVESTOCK FACILITY IN CONJUNCTION WITH THE ANIMAL WELFARE QUALITY PROTOCOL

Yeleussizova A.T.* – PhD, Associate Professor, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kaumenov N.S. – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Batyrbekov A.N. – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Dyussebekov S.K. – Master of Veterinary Sciences, Lecturer, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

In modern livestock production, ensuring animal welfare has become a key area for the industry's sustainable development. International standards developed by WOAH (formerly OIE) and other organizations emphasize the need for strict control over housing conditions, including microclimate parameters. Microclimate deviations can lead to increased morbidity, reduced product quality, and significant economic losses. Veterinary-sanitary microclimate monitoring is considered an essential tool for ensuring compliance with international Welfare standards.

The article presents the results of veterinary-sanitary monitoring and animal welfare assessment of cattle at a modern livestock complex. The research is based on integrating classical sanitary control methods with the international Welfare Quality® protocol. During the study, data on Critical Control Points (CCPs) were digitized, including microclimate parameters, hygiene control, and the ethological status of animals. This approach allowed for identifying hidden technological risks that are not detected during traditional veterinary

examinations. The practical significance of implementing such technologies for disease prevention, increasing production efficiency, and strengthening the global market position of domestic products is highlighted. Thus, veterinary-sanitary monitoring of animals is becoming a strategic direction for the development of modern livestock farming.

Keywords: *veterinary and sanitary monitoring, microclimate, Welfare, international standards.*

Введение. В современной структуре агропромышленного комплекса мясное скотоводство занимает позицию стратегически значимой отрасли, где экономическая эффективность напрямую взаимосвязана с качеством производственной среды. Актуальность исследований смещается от простого увеличения интенсивности откорма к комплексной оптимизации ветеринарно-санитарного режима и внедрению международных стандартов благополучия животных [1, с.130].

Комплексный анализ факторов продуктивности показывает, что успех ведения отрасли лишь на четверть определяется генетическим потенциалом животных. В то же время более половины успеха (свыше 50%) зависит от организации полноценного кормления, а существенная доля в 20-30 % приходится на условия микроклимата и гигиену содержания. Это подтверждает то, что даже самое высокопродуктивное поголовье не способно продемонстрировать ожидаемые результаты без обеспечения оптимальных физико-химических параметров воздушной среды [2, с. 23].

Нарушение санитарно-гигиенических требований приводит к тому, что генетическая предрасположенность животных реализуется лишь частично, не превышая 30 % от возможного. Формирующийся при этом технологический стресс замедляет рост, снижает эффективность кормления и увеличивает сроки откорма до достижения убойной массы. Это неизбежно ведет к росту производственных затрат и падению общей рентабельности мясного производства [3, с. 102; 4, с. 65].

Следовательно, обеспечение оптимального микроклимата является критически важным фактором для эффективного использования биологических ресурсов скота в условиях крупных агропромышленных комплексов.

Исследование проводилось на основе методики, разработанной ранее учеными кафедры ветеринарной санитарии Костанайского университета [5, с. 45], но усовершенствованной членами рабочей группы научного проекта Кауменовым Н.С., Елеусизовой А.Т. и Батырбековым А.Н. Данная методика предусматривает комплексный подход к исследованию состояния животноводческих хозяйств и включает три основных направления: анализ ветеринарно-санитарного состояния территории ферм, мониторинг кормления и содержания сельскохозяйственных животных, влияние состояния окружающей среды (микроклимата) на благополучие животных.

Особое внимание уделяется оценке объектов внешней среды, так как именно они формируют базовые условия для обеспечения здоровья животных и биобезопасности. Методика основана на балльно-рейтинговой системе, позволяющий объективно фиксировать состояние критических точек контроля. В систему включены такие показатели, как санитарная защита фермы, зонирование территории, наличие специализированных помещений, способы хранения кормов, качество водоснабжения, организация навозохранилищ и методы утилизации биоотходов. Каждая из этих позиций имеет максимальную оценку, а фактические результаты позволяют выявить сильные и слабые стороны хозяйства [6, с. 13; 7, с. 15; 8, с. 5].

В мировой практике вопросы ветеринарно-санитарного мониторинга тесно связаны с концепцией Animal Welfare и протоколом качества, разработанных в рамках Европейского союза (например, Welfare Quality Assessment Protocol for Cattle). Эти подходы акцентируют внимание не только на санитарных аспектах, но и на оценке поведения животных, их здоровья и условиях комфорта [9, с.250; 10, с.45; 11, с.27; 12, с.52]. Практическая значимость исследования состоит в том, что внедрение усовершенствованной методики мониторинга способствует снижению заболеваемости животных, повышению качества продукции и укрепления конкурентоспособности отечественных хозяйств на мировом рынке. Таким образом, разработанный подход может служить эффективным инструментом как для внутреннего контроля, так и для международной сертификации [13, с. 21; 14, с.255].

Цель, задачи. Целью исследования являлась комплексная оценка ветеринарно-санитарного состояния животноводческого комплекса ТОО «Терра», путем интеграции отечественных методик санитарного контроля с международными стандартами Welfare Quality®.

Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи:

- проведение комплексного мониторинга ветеринарно-санитарного состояния территории и инфраструктуры хозяйства, по усовершенствованной методике;
- мониторинг условий кормления и содержания взрослого поголовья и молодняка по методике на основе международного протокола Welfare Quality®;
- выявление критических точек контроля и факторов технологического стресса.

Методы исследования. Исследования проводилось на открытой откормочной площадке ТОО «Терра» (Костанайская область, Карабалыкский район), специализирующийся на выращивании крупного рогатого скота мясного направления.

В качестве методической основы использовалась усовершенствованная методика «Мониторинг ветеринарно-санитарного режима животноводческих предприятий», предусматривающая системный

анализ критических точек (ККТ). Методика основана на балльно-рейтинговой системе, где каждая ККТ имеет максимальную оценку, а фактические показатели позволяют выявить соответствие нормативным требованиям либо наличие отклонений.

В соответствии с используемой методикой, оценка ветеринарно-санитарного состояния территории проводилась по следующим критическим точкам контроля: санитарная защита фермы, зонирование территории, обеспеченность специализированными помещениями, характеристика способов хранения кормов, источники водоснабжения и качество воды, характеристика навозохранилища и методов обеззараживания, система сбора и утилизации биологических отходов.

Общая оценка по всем ККТ суммировалась для вычисления интегрального показателя, где максимальное значение составляло 100 баллов.

Ветеринарно-санитарный мониторинг технологического цикла выращивания телят проводился по шести ключевым направлениям (ККТ), суммарная оценка по которым составляла 60 баллов: оценка состояния здоровья, санитарно-гигиеническая оценка кормления, качество воды и режим поения, характеристика микроклимата, моцион и закалывание, режим и качество дезинфекции.

Мониторинг условий кормления и содержания быков проводился по семи критическим точкам контроля, суммарная оценка по которым составила 90 баллов: клинический осмотр и визуальная оценка животных, санитарно-гигиеническая оценка полноценности кормления, контроль качества кормов, оценка метаболического статуса, характеристика микроклимата и среды обитания, оценка систем навозоудаления, гигиены содержания, мониторинга заболеваемости.

Для обеспечения сопоставимости результатов исследования с международными данными оценку проводили на основе протокола Welfare Quality Assessment for fattening cattle (2023). Оценка уровня благополучия животных по данному протоколу проводилась по четырем фундаментальным принципам, включающим критерии благополучия и соответствующие им показатели, с суммарной оценкой в 100 баллов: надлежащее кормление, условия содержания, надлежащее здоровье, соответствующее поведение. Все полученные результаты оценивались по балльной системе с последующим вычислением интегрального показателя санитарного состояния хозяйства. Для анализа применялись методы описательной статистики: средние значения, сравнительные таблицы, что обеспечило объективность интерпретации данных и возможность сопоставления с международными стандартами Welfare.

Результаты. В ходе проведения комплексного ветеринарно-санитарного мониторинга территории ферм были получены данные, характеризующие текущее состояние биобезопасности предприятия и уровень благополучия животных. Общая площадь исследованной территории составила 132,110 тыс.м², включая санитарно-защитную зону, производственные помещения и инфраструктурные объекты. В исследовании участвовало 1 768 голов КРС (телята и быки). Результаты структурированы по главным этапам исследования.

Первым этапом исследований стал ветеринарно-санитарный мониторинг территории предприятия. Оценка проводилась по шести ключевым направлениям, определяющим степень биологической защищенности объекта. Согласно методике, была проведена балльно-рейтинговая оценка инфраструктуры хозяйства ТОО «Терра». Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты ветеринарно-санитарного состояния территории

№ п/п	Критические точки контроля	Максимальная оценка, баллы	Фактическая оценка, баллы	Критерии оценивания, баллы
1	Санитарная защита фермы (санитарно-защитная зона, ограждение, санпропускник, озеленение)	15	15	1. Санитарно-защитная зона – 5 2. Ограждение – 3 3. Санпропускник – 5 4. Озеленение – 2
2	Зонирование территории и характеристика производственной зоны	10	10	1. Разделение на зоны – 3 2. Размещение и планировка – 3 3. Инженерные коммуникации – 4
3	Обеспеченность помещениями (изолятор, карантинные помещения, вет. пункт и т.п.)	10	7	1. Карантинные помещения – 4 2. Изолятор – 3 3. Вет.пункт – 3
4	Характеристика способов хранения кормов	15	15	1. Оборудованные силосные ямы – 3 2. Наличие места для хранения грубых кормов – 3 3. Зернохранилище – 4 4. Защита кормов от внешних факторов и раздельное хранение – 3

Продолжение таблицы 1

5	Характеристика источников водоснабжения и качество воды	15	10	1. Наличие проверенного источника воды (скважина, централизованное водоснабжение) – 5 2. Состояние поилок, емкостей для воды – 5 3. Подача воды (автоматическая, подвозная в цистерне) – 5
6	Характеристика навозохранилища и способов хранения и обеззараживания навоза	15	10	1. Наличие специально оборудованного навозохранилища – 5 2. Методы обеззараживания (компостирование, биотермическое обеззараживание) – 5 3. Своевременная уборка – 5
7	Характеристика способов сбора, утилизации и обезвреживания биоотходов	20	20	1. Наличие специально оборудованного места временного хранения на территории хозяйства – 5 2. Обеспечение своевременного вывоза/утилизации биотходов – 10 3. Обеззараживание отходов – 5
Итого		100	87	

Суммарный показатель по критическим точкам контроля (ККТ) составил 87 баллов, близкий к оптимальному, что соответствует высокому уровню санитарной защиты. Наиболее сильные стороны – санитарная защита фермы, зонирование территории, организация хранения кормов и биоотходов, где показатели полностью соответствуют максимальным требованиям.

Однако выявлены отдельные недостатки, требующие внимания: недостаточная обеспеченность специализированными помещениями (изолятор, ветеринарный пункт), снижение баллов по характеристике источников водоснабжения и качества воды, что связано с выявленными нарушениями санитарно-гигиенических требований. При обследовании установлено, что поилки были загрязнены остатками корма, органическими примесями.

Кроме того, в воде отмечался зелёный осадок, что свидетельствует о развитии микроводорослей и, вероятно, недостаточной очистке или дезинфекции источника водоснабжения. Подобные факторы создают риск ухудшения качества питьевой воды для животных, могут способствовать развитию желудочно-кишечных заболеваний и снижению общей резистентности организма, неполное соответствие требованиям к навозохранилищу и методам обеззараживания навоза.

Таким образом, территория в целом соответствует ветеринарно-санитарным нормам, но для достижения максимального уровня необходимо усилить контроль за обеспеченностью помещениями, качеством водоснабжения и системой хранения навоза. Это позволит повысить устойчивость фермы к эпизоотическим рискам и обеспечить более высокий уровень.

Для объективной количественной оценки ветеринарно-санитарного благополучия и условий содержания быков на исследуемом объекте был проведен аудит по шести критическим точкам контроля (ККТ). Результаты балльно-рейтинговой оценки, включающие средние значения и статистическую погрешность, отражающие соответствие фактических условий нормативным требованиям, систематизированы в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты ветеринарно-санитарного мониторинга выращивания быков

№ п/п	Критические точки контроля	Оценка, баллы		Критерии оценивания, баллы
		Мак	Фактическая	
1	Осмотр животных и их визуальная оценка	15	14,4±0,5	1. Наличие видимых травм – 5 2. Состояние кожи, слизистых покровов и шерсти – 5 3. Признаки недомогания (отдышка, вялость) – 5
2	Санитарно-гигиеническая оценка полноценности кормления животных по рациону	10	9,6±0,3	1. Наличие утвержденного рациона в соответствии потребностями животных – 5 2. Сбалансированность рациона по питательным веществам – 5
3	Результаты исследования качества кормов	10	9,2±0,6	Соответствие по: 1. Органолептическим показателям – 2

Продолжение таблицы 2

				2. Физико-химическим показателям – 2 3. Питательной ценности – 2 4. Витаминам и микроэлементам – 2 5. Безопасности – 2
4	Характеристика микроклимата (температура, влажность, подстилка и т.д.)	15	10,3±1,9	1. Температура воздуха – 2 2. Влажность воздуха – 2 3. Установка навесов, тентов – 3 4. Состояние подстилок (смена и утепление в холодное время) – 4 5. Организация дренажа и отведения воды – 4
5	Оценка системы канализации и ее эффективность, санитарное состояние кожных покровов и лежа для быков	15	7,1±0,2	1. Устройство канализации – 4 2. Разделение стоков – 4 3. Санитарное состояние кожных покровов – 4 4. Санитарное состояние лежа для быков – 3
6	Заболеваемость быков	15	14,5±0,5	1. Инфекционные болезни – 4 2. Паразитарные болезни – 4 3. Болезни конечностей и травмы – 4 4. Летальность – 3
Итого		80	67,2±2,3	

На основании данных ветеринарно-санитарного мониторинга установлено, что итоговый показатель благополучия содержания быков составил 67,2±2,3 балла (что соответствует 84% от максимума), при этом наиболее высокие результаты достигнуты в блоках контроля заболеваемости 14,5±0,5 и организации полноценного кормления 9,6±0,3, что подтверждает эффективность ветеринарно-профилактических мероприятий и высокое качество кормовой базы.

В то же время, выявлены значительные отклонения в инженерно-техническом обеспечении, а именно, в работе систем канализации и гигиене лежа 7,1±0,2, а также нестабильность параметров микроклимата 10,3±1,9, обусловленная зависимостью среды обитания от внешних погодных условий и несовершенством дренажных систем. Таким образом, несмотря на общее эпизоотическое благополучие, именно технологические факторы и гигиена содержания выступают лимитирующими факторами, требующими модернизации инфраструктуры и оптимизации режимов уборки.

Ветеринарно-санитарный мониторинг выращивания молодняка (телят)

Особое внимание в ходе исследования было уделено процессу выращивания молодняка, так как данный этап является наиболее важным с точки зрения формирования резистентности организма и реализации продуктивности животных. Мониторинг проводился в соответствии классической усовершенствованной методикой и включал оценку шести ключевых контрольных точек (ККТ), результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты ветеринарно-санитарного мониторинга выращивания телят

№ п/п	Критические точки контроля	Оценка, баллы		Критерии оценивания
		max	Фактическая	
1	Оценка состояния здоровья телят	15	14,4±0,5	1. Заболеваемость – 5 2. Суточный прирост массы – 5 3. Вакцинация – 5
2	Санитарно-гигиеническая оценка технологии кормления телят на карантине и качества кормов	10	9,5±0,5	1. Наличие утвержденного рациона в соответствии потребностями животных – 5 2. Сбалансированность рациона по питательным веществам – 5
3	Качество воды и режима поения телят	5	4,1±0,4	1. Наличие скважин или центр водоснабжения – 2 2. Температура воды – 1 3. Доступность – 1 4. Санитарное состояние поилок и оборудования – 1
4	Характеристика микроклимата помещений	15	12,5±0,7	1. Температура воздуха – 2 2. Влажность воздуха – 2

Продолжение таблицы 3

				3. Установка навесов, тентов – 3 4. Состояние подстилок (смена и утепление в холодное время) – 4 5. Организация дренажа и отведения воды – 4
5	Моцион и закаливание телят	5	4,4±0,5	1. Регулярность моциона – 1 2. Продолжительность – 1 3. Условия выгульных площадок – 2 4. Методы закаливания – 1
6	Режим и качество дезинфекции	10	9,7±0,3	1. Контроль качества – 6 2. Наличие журнала дезинфекции – 4
Итого		60	54±1,2	

Показатели мониторинга ветеринарно-санитарного благополучия в секции выращивания телят составил 54±1,2 балла, что соответствует 91% от максимально возможного значения. Данный результат свидетельствует о высоком уровне соблюдения технологии выращивания и ветеринарных нормативов. Эпизоотическое благополучие и биозащита: Высокие баллы по данным ККТ (14,4±0,5 и 9,7±0,3 соответственно) подтверждаются строгим соблюдением графика вакцинации и эффективным лабораторным контролем качества дезинфекции. Это позволило минимизировать заболеваемость и обеспечить плановый суточный прирост живой массы. Гигиена кормления (ККТ №2): Благодаря кормлению по утвержденным сбалансированным схемам на этапе карантина, показатель ККТ составил 9,5± 0,5, что позволило полностью избежать массовых пищевых расстройств у животных.

Наибольшее снижение оценки зафиксировано по ККТ «Характеристика микроклимата» 12,5±0,7. Баллы были снижены из-за отсутствия стационарных навесов и тентов во всех зонах содержания животных, что повышает уязвимость телят к резким атмосферным воздействиям. В ходе мониторинга установлено, что фактическая смена подстилочного материала производится лишь раз в полугодие. Недостаточная частота обновления подстилочного слоя в зимний сезон указывает на необходимость повышения кратности данных работ, что является критически важным фактором защиты поголовья от негативного воздействия низких температур.

В критической точке контроля «Качество воды и режима поения» 4,1±0,4 баллы были снижены из-за периодического загрязнения поилок органическими примесями корма. Это указывает на необходимость пересмотра графика санитарной очистки оборудования и усиления контроля за качеством воды непосредственно в точках доступа.

Комплексный мониторинг показал, что система выращивания телят на предприятии характеризуется высокой устойчивостью. Основным вектором дальнейшего совершенствования должно стать улучшение инженерного обустройства (установка защитных тентов) и оптимизация регламента санитарного обслуживания систем поения, что позволит достичь абсолютного соответствия международным стандартам благополучия животных.

Результаты оценки уровня благополучия животных проводилась с применением международного протокола Welfare Quality®. Данный метод позволил объективно проанализировать не только физические показатели здоровья, но и психологические аспекты жизни быков. Результаты оценки по четырем основным принципам представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты оценки благополучия животных (быков) по принципам Welfare Quality ®

№	Принципы благополучия	Оценка, баллы		Критерий благополучия	Показатель
		max	Фактическая		
1	Надлежащие кормление	20	18,4±1,5	1. Отсутствие длительного голода –10	Оценка упитанности – 5 Наличие кормов, доступ к корму – 5
				2. Отсутствие длительной жажды – 10	Число и доступность поилок – 4 Функционирующие поилки – 3 Проверка на наличие воды в системах – 4
2	Условия содержания	20	18,2±1,07	1. Комфорт состояния покоя – 10	% животных, лежащих вне предназначенных мест – 3 Частота загрязнения тел (чистота боков, задней части и ног) – 4 Затруднения при укладывании (scoring "вставание-лежа") – 3

Продолжение таблицы 4

				2. Свобода передвижения – 10	Площадь на голову – 2 Время выгула или пастбищного содержания – 4 Частота хромоты – 4
3	Надлежащие здоровье	30	28±1,08	1. Отсутствие травм –10	% животных с хромотой – 4 Повреждения/пролежни / ссадины – 4 Травмы от оборудования – 2
				2. Отсутствие заболеваний – 10	Частота кашля, поноса, выделений из носа – 4 Данные по смертности, выбраковке, лечению – 3 Оценка частоты заболеваний – 3
				3. Отсутствие боли, вызванной производственными процедурами – 10	Применение анестезии/анальгезии при обрезке рогов, кастрации – 5 Частота и способ проведения – 5
4	Соответствующее поведение	30	28,7±0,8	1. Проявление социальных форм поведения и проявление иных видов поведения – 10	Наблюдение за агрессией, облизыванием, групповой активностью – 4 Количество конфликтов за корм / поилки – 3 Поведение при кормлении – 3
				2. Благоприятные отношения между человеком и животным – 10	Тест "избегания человека" – 4 Реакции на приближение / прикосновение – 3 Частота агрессивных или стрессовых реакций – 3
				3. Положительное эмоциональное состояние – 10	Качественная поведенческая оценка (QBA) – оценка эмоций: спокойствие, интерес, страх – 5 Частота позитивных взаимодействий с окружением – 5
Итого		100	93,2±3,3		

Согласно полученным данным, суммарный показатель благополучия животных составил 93,3±3,3 балла из 100 возможных. В соответствии с классификацией протокола, данный результат позволяет отнести исследуемый объект к высшей категории – «Excellent» (Превосходно).

Принцип благополучия по критериям «Надлежащее кормление» составил 18,4±1,5. Высокий балл обусловлен отсутствием признаков длительного голода (оптимальная упитанность животных) и бесперебойным доступом к функционирующим поилкам. Принцип условия содержания составил 18,2±1,07. Результаты подтверждают комфортность зоны отдыха. Незначительное снижение баллов по данному критерию в ряде исследуемых загонах из-за несоответствия фактической площади станков рекомендуемым зоогигиеническим нормам плотности посадки.

Надлежащее здоровье 28,0±1,08. Высокая оценка в этом блоке достигнута благодаря отсутствию травматизма от оборудования и, что особенно важно для международного протокола, применению анестезии при проведении технологических процедур. Это минимизирует болевой стресс и положительно сказывается на общей резистентности.

Соответствующее поведение 28,7±0,8. Данный принцип показал наиболее высокий относительный результат. Качественная поведенческая оценка (QBA) зафиксировала преобладание положительных эмоций (спокойствие, интерес). Минимальная дистанция избегания человека подтверждает доверительные отношения между персоналом и животными, что является важным индикатором отсутствия хронического стресса.

Применение протокола Welfare Quality® подтвердило, что на предприятии создана среда, максимально приближенная к естественным потребностям животных. Интеграция международных стандартов в отечественную систему ветеринарного контроля позволяет не только улучшить качество жизни скота, но и гарантировать получение продукции высокого качества, соответствующей мировым требованиям биобезопасности и этики.

В рамках исследования проведена комплексная оценка благополучия телят по методике Welfare Quality®. Анализ охватывал четыре ключевых принципа: надлежащее кормление, условия содержания, здоровье и поведение животных, которые отображены в таблице.

Таблица 5 – Результаты оценки благополучия животных (телят) по принципам Welfare Quality®

№	Принципы благополучия	Оценка, баллы		Критерий благополучия	Показатель
		max	Факти- ческая		
1	Надлежащие кормление	20	19,4±0,5	1. Отсутствие дли- тельного голода – 10	Оценка упитанности – 5 Наличие кормов, доступ к корму – 5
				2. Отсутствие дли- тельной жажды – 10	Число и доступность поилок – 4 Функционирующие поилки – 3 Проверка на наличие воды в системах – 4
2	Условия содержания	20	19,1±0,8	1. Комфорт состоя- ния покоя – 10	% животных, лежащих вне пред- назначенных мест – 3 Частота загрязнения тел (чистота боков, задней части и ног) – 4 Затруднения при укладывании (scoring "вставание-лёжа") – 3
				2. Свобода передви- жения – 10	Площадь на голову – 2 Время выгула или пастбищного со- держания – 4 Частота хромоты – 4
3	Надлежащие здоровье	30	29,8±0,25	1. Отсутствие травм – 10	% животных с хромотой – 4 Повреждения / пролежни / ссадины – 4 Травмы от оборудования – 2
				2. Отсутствие забо- леваний –10	Частота кашля, поноса, выделений из носа – 4 Данные по смертности, выбраков- ке, лечению – 3 Оценка частоты заболеваний – 3
				3. Отсутствие боли, вызванной производ- ственными процеду- рами – 10	Применение анестезии/анальгезии при обрезке рогов, кастрации – 5 Частота и способ проведения – 5
4	Соответст- вующее поведение	30	19,8±5,7	1. Проявление со- циальных форм по- ведения и проявле- ние иных видов поведения – 10	Наблюдение за агрессией, облизы- ванием, групповой активностью – 4 Количество конфликтов за корм / поилки – 3 Поведение при кормлении – 3
				2. Благоприятные отношения между человеком и живот- ным –10	Тест "избегания человека" – 4 Реакции на приближение / при- косновение – 3 Частота агрессивных или стрессо- вых реакций – 3
				3. Положительное эмоциональное состояние – 10	Качественная поведенческая оцен- ка (QBA) – оценка эмоций: спокой- ствие, интерес, страх – 5 Частота позитивных взаимодейст- вий с окружением – 5
Итого		100	88,3±6,2		

В результате проведённой оценки благополучия телят по протоколу Welfare Quality® суммарный показатель составил $88,3 \pm 6,2$ из 100 возможных, что свидетельствует о высоком уровне ветеринарно-санитарного благополучия при содержании животных. Наиболее высокие результаты получены по критерию здоровья $29,8 \pm 0,25$, где практически отсутствовали травмы и заболевания, а болезненные процедуры проводились с обязательным применением анестезии и анальгезии, что минимизировало стресс и обеспечило высокую резистентность молодняка. Условия содержания также оценены положительно $19,1 \pm 0,8$, животные демонстрировали комфортное состояние покоя, чистоту кожных покровов и свободу передвижения, что критически важно для профилактики нарушений опорно-двигательного аппарата. Показатель кормления составил $19,4 \pm 0,5$, что отражает достаточный уровень упитанности и отсутствие признаков длительного голода, однако выявлены отдельные ограничения, связанные с доступностью и функционированием поилок. Баллы были снижены в критериях «Соответствующее

поведение» $19,8 \pm 5,7$, где отмечались положительные реакции на контакт с человеком и проявления социальной активности, но во многих загонах наблюдались случаи внутривидовой агрессии и увеличение количества конфликтов между животными.

Основной очаг напряженности локализовался в зонах кормления и у поилок, где фиксировались столкновения за доступ к ресурсу. Высокое отклонение в этом блоке $\pm 5,7$ подтверждает, что эмоциональное благополучие телят сильно зависит от микросоциального климата внутри конкретного загона и стабильности технологических процессов. Проведенная оценка подтвердила высокий уровень здоровья и гигиены содержания телят. Вместе с тем дальнейшее совершенствование технологического процесса должно быть направлено на оптимизацию системы водоснабжения и снижение конкуренции за ресурсы. Реализация этих мер позволит повысить общий показатель благополучия животных и приблизить условия их содержания к высшей категории по протоколу Welfare Quality®.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило, что ветеринарно-санитарный мониторинг является ключевым инструментом для обеспечения благополучия здоровья животных. Интеграция усовершенствованной методики с протоколом Welfare Quality® позволила получить комплексную оценку, включающую санитарные, технологические и этические показатели.

Практическая значимость исследования заключается в том, что устранение выявленных недостатков – оптимизация микроклимата и вентиляции, регулярная смена подстилок, организация выгульных площадок и совершенствование взаимодействия человека с животными – позволит повысить биологическую безопасность, снизить риск заболеваний и укрепить конкурентоспособность продукции на мировом рынке.

Таким образом, комплексный ветеринарно-санитарный мониторинг, основанный на сочетании отечественных и международных методик, является эффективным инструментом управления благополучием животных и устойчивого развития животноводческих предприятий.

Информация о финансировании. Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP26101229 – "Обеспечение благополучия животных, безопасности и качества мясных туш, за счет повышения эффективности процесса первичной переработки убойных животных").

ЛИТЕРАТУРА:

1. Blokhuis H.J., Veissier I., Miele M. and Jones B. 2010. The Welfare Quality® project and beyond: Safeguarding farm animal well-being. [Текст] Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science 60. 129–140. – DOI: <https://doi.org/10.1080/09064702.2010.523480>.
2. Гершун, В.И. Ветеринарная гигиена [Текст] / Гершун В.И., Кауменов Н.С. – Алматы: КазНАУ, 2012. – 436 с.
3. Ксенофонтова, А.А. Уровень благополучия как маркер этичного отношения к продуктивным животным [Текст] / Ксенофонтова А.А., Иванов А.А., Зудкова О.А. [и др.] // Известия ТСХА. – 2020. – № 2. – С. 99–115. – DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-2-99-115>.
4. Петренко, Е.Е. Ветеринарно-санитарный мониторинг молочных предприятий [Текст] /. Петренко Е.Е., Гершун В.И. – Костанай, 2014. – 124 с.
5. Гершун, В.И. Мониторинг ветеринарно-санитарного режима животноводческих предприятий: методические рекомендации [Текст] / Гершун В.И., Кауменов Н.С. – Костанай: КГУ им. А. Байтурсынова, 2010. – 48 с.
6. Silva, W. C. et al. Animal welfare and effects of per-female stress on male and cattle reproduction A review [Текст] / W.C. Silva //Frontiers in Veterinary Science. – 2023. – Т. 10. – С. 1083469.
7. Kumar, P. et al. Improving animal welfare status and meat quality through assessment of stress biomarkers: a critical review [Текст] / P. Kumar et al. // Meat Science. – 2023. – Т. 197. – С. 109048. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109048>.
8. Петренко, Е.Е. Оценка ветеринарно-санитарного состояния животноводческих объектов с использованием балльно-рейтинговой системы [Текст] / Петренко Е.Е., Гершун В.И. // Вестник государственного университета имени А. Байтурсынова. – 2013. – № 2. – С. 15–19.
9. Кузнецов, А.Ф. Гигиена содержания животных [Текст] / Кузнецов А. Ф., Тюрин В. Г., Семенов В. Г. [и др.]. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 380 с.
10. Смирнов, А. М. Ветеринарная санитария – основа биологической безопасности животноводства [Текст] / Смирнов А. М. // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 4. – С. 44–46.
11. Hemsworth, Paul H., et al. Human–animal interactions at abattoirs: Relationships between handling and animal stress in sheep and cattle [Текст] / Hemsworth Paul H., Rice Maxine, Marcus G. Karlen, Calleja Lisa, Barnett John L., Nash Judy, Grahame J. Coleman // Applied Animal Behaviour Science. Volume 135, Issues 1–2, 30 November 2011, Pages 24–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.09.007>.
12. Blokhuis, H.J. Welfare Quality: Science and society improving animal welfare [Текст] / Blokhuis H. J., Veissier I., Miele M. [et al.] // Science Direct: Animal Welfare. – 2013. – Vol. 7, № 1. – P. 50–54.

13. Mellor, D. J. **Updating Animal Welfare Thinking: Moving beyond the «Five Freedoms» towards «A Life Worth Living»** [Текст] / Mellor D. J. // *Animals*. – 2016. – Vol. 6, № 3. – P. 21. – DOI <https://doi.org/10.3390/ani6030021>.
14. Botreau, R. **Aggregation of measures to produce overall assessments of animal welfare** [Текст] / Botreau R., Veissier I., Butterworth A. [et al.] // *Animal Welfare*. – 2007. – Vol. 16, № 2. – P. 253–256.

REFERENCES:

1. Blokhuis H.J., Veissier I., Miele M., Jones B. **The Welfare Quality® project and beyond: Safeguarding farm animal well-being**. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section, Animal Science*, 2010, vol. 60, pp. 129-140.
2. Gershun V.I., Kaumenov N.S. **Veterinarnaya gigiena** [Veterinary hygiene]. Almaty, KazNAU, 2012, 436 p. (In Russian)
3. Ksenofontova A.A., Ivanov A.A., Zudkova O.A. **Uroven' blagopoluchiya kak marker e'tichnogo otnosheniya k produktivny'm zhivotny'm** [Welfare as a marker of ethical treatment of food-producing animals]. *Izvestiya TSHA*, 2020, no. 2, pp. 99-115. (In Russian)
4. Petrenko E.E., Gershun V.I. **Veterinarno-sanitarnyj monitoring molochny'h predpriyatij** [Veterinary and sanitary monitoring of dairy enterprises]. Kostanay, 2014, 124 p. (In Russian)
5. Gershun V.I., Kaumenov N.S. **Monitoring veterinarno-sanitarnogo rezhima zhivotnovodcheskih predpriyatij metodicheskie rekomendacii** [Monitoring the veterinary and sanitary conditions of livestock enterprises: methodological recommendations]. Kostanay, KGU im. A. Bajtursynova, 2010, 48 p. (In Russian)
6. Silva W. C. et al. **Animal welfare and effects of per-female stress on male and cattle reproduction A review**. *Frontiers in Veterinary Science*, 2023, vol. 10, art. 1083469.
7. Kumar P. et al. **Improving animal welfare status and meat quality through assessment of stress biomarkers: a critical review**. *Meat Science*, 2023, vol.197, art. 109048.
8. Petrenko E.E., Gershun V.I. **Ocenka veterinarno-sanitarnogo sostoyaniya zhivotnovodcheskih ob'ektov s ispol'zovaniem ball'no-rejtingovoj sistemy'** [Assessment of the veterinary and sanitary condition of livestock facilities using a scoring system]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta imeni A. Bajtursynova*, 2013, no. 2, pp. 15-19. (In Russian)
9. Kuznecov A.F., Tyurin V.G., Semenov V.G. **Gigiena soderzhaniya zhivotny'h** [Animal hygiene]. Saint-Petersburg, Lan', 2020, 380 p. (In Russian)
10. Smirnov A.M. **Veterinarnaya sanitariya osnova biologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodstva** [Veterinary sanitation is the basis of biological safety in animal husbandry]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2014, no. 4, pp. 44-46. (In Russian)
11. Hemsworth Paul H., Rice Maxine, Marcus G. Karlen, et al. **Human–animal interactions at abattoirs: Relationships between handling and animal stress in sheep and cattle**. *Applied Animal Behaviour Science*, 2011, vol. 135, iss. 1-2, pp. 24-33.
12. Blokhuis H.J., Veissier I., Miele M., et al. **Welfare Quality: Science and society improving animal welfare**. *Science Direct: Animal Welfare*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 50-54.
13. Mellor, D. J. **Updating Animal Welfare Thinking: Moving beyond the Five Freedoms towards A Life Worth Living**. *Animals*, 2016, vol. 6, no. 3. art. 21.
14. Botreau R., Veissier I., Butterworth A., et al. **Aggregation of measures to produce overall assessments of animal welfare**. *Animal Welfare*, 2007, vol. 16, no. 2, pp. 253-256.

Информация об авторах:

Елеусизова Анара Тулегеновна* – PhD, ассоциированный профессор кафедры ветеринарной санитарии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Маяковского, 99/1, корпус 4, тел.: 87142537876, e-mail: yeleusizova_a@inbox.ru.

Кауменов Нурлан Сарсенбаевич – кандидат ветеринарных наук, заведующий кафедрой ветеринарной санитарии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Маяковского, 99/1, корпус 4, тел.: 87768284747, e-mail: nurlan77783@mail.ru.

Батырбеков Асылбек Нурлыбекович – кандидат ветеринарных наук, заместитель декана по учебной работе Факультета сельскохозяйственных наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Маяковского, 99/1, корпус 4, тел.: 87057125099, e-mail: asylbek555@mail.ru.

Дюсембеков Санияз Канатович – магистр ветеринарных наук, преподаватель кафедры ветеринарной санитарии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Маяковского, 99/1, корпус 4, тел.: 87029308194, e-mail: dsk_1994@mail.ru.

Елеусизова Анара Тулегеновна* – PhD, ветеринариялық санитария кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы., 110000, Қостанай қ., Маяковский көш, 99/1, 4 ғимарат, тел.: 87142537876, e-mail: yelesizova_a@inbox.ru.

Кауменов Нурлан Сарсенбаевич – ветеринария ғылымдарының кандидаты, ветеринариялық санитария кафедрасының меңгерушісі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы. 110000, Қостанай қ., Маяковский көш, 99/1, 4 ғимарат, тел.: 87768284747, e-mail: nurlan77783@mail.ru.

Батырбеков Асылбек Нурлыбекович – ветеринария ғылымдарының кандидаты, Ауыл шаруашылығы ғылымдары факультеті деканының оқу ісі жөніндегі орынбасары, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Маяковский көш, 99/1, 4 ғимарат, тел.: 87057125099, e-mail: asylbek555@mail.ru.

Дюсембеков Санияз Канатович – ветеринария ғылымдарының магистрі, ветеринариялық санитария кафедрасының оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы 110000, Қостанай қ., Маяковский көш, 99/1, 4 ғимарат, тел.: 87029308194, e-mail: dsk_1994@mail.ru.

Yelessizova Anara Tulegenovna* – PhD, Associate Professor, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., bld. 4, tel.: 87142537876, e-mail: yelesizova_a@inbox.ru.

Kaumenov Nurlan Sarsenbayevich – Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan. 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., bld. 4, tel.: 87768284747, e-mail: nurlan77783@mail.ru.

Batyrbekov Assylbek Nurlybekovich – Candidate of Veterinary Sciences, Deputy Dean for Academic Affairs, Faculty of agricultural sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., bld. 4, tel.: 87057125099, e-mail: asylbek555@mail.ru.

Dyussembekov Saniyaz Kanatovich – Master of Veterinary Sciences, Lecturer, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., bld. 4, tel.: 87029308194, e-mail: dsk_1994@mail.ru.

IRSTI 68.41.53

UDC 619:616.988.2

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621032>

ЕПИЗООТИК СИТУАЦИЯ БЛУЕТОНГУЕ В ОВЦАХ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2021-2025

Zhakenova A.Ye. – PhD student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Abdrakhmanov S.K. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Director of the Institute of Animal Sciences and Veterinary Medicine, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Shynybayev K.M. – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, Department of bacteriology, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Bizhanov A.B.* – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher, Department of bacteriology, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of a study of biological samples collected from sheep from farms located in various regions of the Republic of Kazakhstan. The study aimed to assess the epizootic situation of bluetongue disease. A total of 25 samples were collected: 15 samples were tested using real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR) with the MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems), and 10 samples were tested for antibodies against BTV VP7 using the ID Screen® Bluetongue Competition ELISA Kit (ID-Vet, France). Total RNA was extracted from 15 EDTA-anticoagulated blood samples using the MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems) as per the kit instructions for use. For the competitive ELISA (c-ELISA), absorbance (optical density) was measured at a wavelength of 450 nm. Reverse transcription and amplification were performed using the Applied Biosystems 7500 Fast Real-Time PCR System using the following thermocycling conditions: 45°C for 10 min, 95°C for 10 min, followed by 40 cycles of 95°C for 15 s and 60°C for 45 s.

All 25 biological samples tested using modern, highly sensitive diagnostic methods yielded negative results, indicating the absence of bluetongue virus circulation in sheep farms in the Republic of Kazakhstan during the period 2021–2025.

Keywords: bluetongue, ELISA, sheep, PCR, virus.

2021-2025 ЖЫЛДАРДАҒЫ ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ҚОЙ БЛЮТАНГІНІҢ ЭПИЗООТИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ

Жакенова А.Е. – PhD докторант, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Абдрахманов С.К. – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, жануарлар ғылымы және ветеринария институтының директоры, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Шыныбаев К.М. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, бактериология бөлімінің жетекші ғылыми қызметкері, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Бижанов А.Б.* – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, бактериология бөлімінің бас ғылыми қызметкері, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада блютангтың эпизоотиялық жағдайын зерттеу мақсатында жүргізілген, Қазақстан Республикасының әртүрлі өңірлеріндегі шаруашылықтарға тиесілі қойлардан іріктеп алынған биологиялық материалды зерттеу нәтижелері келтірілген. 2021-2025 жылдар ішінде барлығы 25 сынама іріктеліп алынды, оның ішінде 15 үлгі MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems) жиынтығын қолдана отырып, нақты уақыттағы кері транскрипциялы полимеразды тізбекті реакциямен (RT-PCR) (qPCR) сынақтан өткізілді және 10 үлгі ИФТ-да ID Screen® bluetongue competition Kit (ID-Vet, Франция) жиынтығын пайдалана отырып, BTV-VP7 қарсы антиденелердің болуына зерттелді. Жалпы РНК тест нұсқаулықтарына сәйкес MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems) жиынтығының көмегімен ЭДТА-дан 15 қан үлгісінен шығарылды.

с-ELISA жүргізу кезінде тест нәтижелерінің жұтылуы (оптикалық тығыздығы) толқынның ұзындығы 450 нм болғанда есептелген. Кері транскрипция және амплификация Applied Biosystems 7500 Fast Real-Time PCR System жүйесінде термоциклер бағдарламасын пайдалана отырып жүргізілді: 10 минут ішінде 45 °C, 10 минут ішінде 95 °C, содан кейін 15 с ішінде 95 °C бойынша 40 цикл және 45 с ішінде 60 °C. Флуоресценция 60 °C-45 с кезеңінде өлшенді.

Қазіргі заманғы жоғары сезімтал тестілерді қолдана отырып, биологиялық материалдың барлық 25 сынамасын зерттеу кезінде теріс нәтижелер алынды, олар 2021-2025 жылдар ішінде Қазақстан Республикасының қой шаруашылығы шаруашылықтарында блютанг вирусы айналымының жоқтығын көрсетеді.

Түйінді сөздер: блютанг, вирус, ИФТ, қойлар, ПТР.

ЭПИЗООТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ БЛЮТАНГА ОВЕЦ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ В 2021-2025 ГОДАХ

Жакенова А.Е. – PhD докторант, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Абдрахманов С.К. – доктор ветеринарных наук, профессор, директор института науки о животных и ветеринарии, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Шыныбаев К.М. – кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник отдела бактериологии, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», г. Алматы, Республика Казахстан.

Бижанов А.Б.* – доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела бактериологии, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», г. Алматы, Республика Казахстан.

В статье приведены результаты исследований биологического материала, отобранного у овец, принадлежащих хозяйствам различных регионов Республики Казахстан, проведенных с целью изучения эпизоотической ситуации блютанга. Всего было отобрано 25 проб, из которых 15 образцов было протестировано полимеразной цепной реакцией с обратной транскрипцией в реальном времени (RT-PCR) (qPCR), с применением набора MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems), и 10 образцов было исследовано на наличие антител против BTV-VP7 с использованием ИФА набора ID Screen® bluetongue competition Kit (ID-Vet, Франция). Общая РНК была экстрагирована из 15 образцов крови с ЭДТА с помощью набора MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems) в соответствии с инструкциями теста.

При проведении с-ELISA поглощение (оптическая плотность) результатов теста считывалось при длине волны 450 нм. Обратная транскрипция и амплификация проводились на системе Applied Biosystems 7500 Fast Real-Time PCR System с использованием программы термоциклера: 45

°C в течение 10 мин, 95 °C в течение 10 мин, затем 40 циклов по 95 °C в течение 15 с и 60 °C в течение 45 с. Флуоресценция измерялась на этапе 60 °C – 45 с.

При исследованиях всех 25 проб биологического материала с применением современных высокочувствительных тестов получены отрицательные результаты, которые указывают на отсутствие циркуляции вируса блютанга в овцеводческих хозяйствах Республики Казахстан в течение 2021-2025 годов.

Ключевые слова: блютанг, ИФА, овцы, ПЦР, вирус.

Introduction. Bluetongue is an arthropod-transmitted viral disease of ruminants and certain other animals that was recognized and described more than 100 years ago in southern Africa. Bluetongue virus (BTV) infection of ruminants and vector *Culicoides* insects is enzootic throughout tropical and temperate regions of the world; however, there have been drastic recent regional alterations in the global distribution of BTV infection, particularly in Europe since 1998. [1, p. 107].

Bluetongue (BT) disease or catarrhal fever is a non-contagious, insect-borne, viral disease of ruminants, mainly sheep and less frequently cattle. BT disease results in both direct and indirect economic losses. High morbidity and mortality, abortions, stillbirths, abnormalities in the fetus, low birth weight in young ones, reduced milk yield, lowered fertility rate, early culling, meat and fleece losses, etc. contribute to direct losses whereas trade restrictions imposed on animal movement, germplasm, and animal products, expenditure for vaccination, diagnosis, vector control and treatment of clinically pretentious animals are some of the indirect losses encountered due to BT [2, p. 147, 3, p. 65]. Due to its economic impact on animal livestock, BT is listed as a multispecies disease by World Organization for Animal Health (OIE) [4, p. 401].

After a few sporadic incursions, BTV started to circulate in Europe between 1998 and 2005 with the detection of at least 5 serotypes (BTV 1, 2, 4, 9 and 16). Initially, the virus spread remained limited to the Mediterranean Basin. A first BTV-8 epidemic swept across northwestern Europe between 2006 and 2010, first reported in the Netherlands before spreading to Belgium, Germany, France and Luxembourg [5, p. 521]. Between 2010 and 2023, different BTV outbreaks were notified in northern Europe associated with BTV-8 re-emergence as well as incursions of other BTV serotypes (e.g., BTV-4). Currently, a new BTV epidemic is spreading across Europe, this time linked to BTV-3. Although BTV-3 was first identified in Europe in Italy in 2017 [6, p. 273], a new incursion was detected in the Netherlands in 2023 [7, p. 109, 8, 1552].

To date, BTV has been detected on every continent except Antarctica. The disease derives its name from one of its hallmark signs, cyanosis of the tongue ("blue tongue"), resulting from vascular thrombosis, edema, and hemorrhage caused by viral damage to endothelial cells [9, pp. 3070, 10, pp. 153]. Clinical manifestations include high fever, inflammation of the tongue and intestinal mucosa, lameness due to sore hooves, and necrotic foci in the nasal and buccal mucosa [11, pp.19448]. Accurate diagnosis of BT is vital for disease control and for maintaining safe international trade in animals and animal products [12, p. 318]. Tentative diagnosis may rely on clinical signs and gross lesions, but confirmation requires laboratory testing. Standard methods include detection of viral RNA by reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) and virus isolation in mammalian or insect cell cultures or embryonated chicken eggs [13, p. 481]. Molecular typing and characterization provide precise identification, while group-specific antigen capture enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) is commonly used to confirm viral isolates [14, p. 1741]. Globally, BT imposes considerable economic losses estimated at approximately USD 3 billion annually [15, p. 65]. Direct losses include high morbidity and mortality, abortions, stillbirths, low birth weight, reduced fertility, decreased milk yield, and premature culling [16, p. 147]. Indirect losses stem from restrictions on trade in live ruminants, animal products, and germplasm, as well as costs associated with vaccination, diagnostics, vector control, and supportive treatment of affected animals [16, p. 148].

Although there are no official data on cases of bluetongue in the country [17, p. 71], given the complex global epizootic situation of this disease and the risk of its introduction, this study aimed to investigate the epizootic situation of bluetongue in sheep in the Republic of Kazakhstan.

Objectives:

1. To examine blood serum and whole blood samples collected from small ruminants in various regions of Kazakhstan for the presence of antibodies against BTV VP7 using the competitive ELISA (c-ELISA);
2. To perform molecular analysis of oral mucosal swabs, internal organs, pathological material, and whole blood samples collected from small ruminants in various regions of Kazakhstan using real-time RT-PCR.

Materials and methods

Study Setting and Design

These studies were conducted at S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University.

The study material included oral mucosal swabs, internal organs, pathological material, blood serum, and whole blood samples collected from small ruminants in the following locations: the village of Karasay, Zaisan District, East Kazakhstan Region (n = 6); the village of Akadyr, Shet District, Karaganda Region (n = 6); the village of Oktyabrskoye, Karasu District, Kostanay Region (n = 2); the Zhappas farm, Kaztalovsky District, West Kazakhstan Region (n = 1); the village of Sarykol, Sarykol District, Kostanay Region (n = 2); the Mibulak rural district, Ulytau District, Ulytau Region (n = 2); the M. Mamyr rural district, Karkaraly District, Karaganda Region (n = 3); and the village of Zhartas, Abai District, Karaganda Region (n = 3). Sample

collection and testing for bluetongue in small ruminants from the above-mentioned regions were carried out between 2021 and 2025.

Ethics statement

The samples were collected by qualified veterinarians following standard sample collection techniques without injury or stress to the animals. The animal breeders were always informed of the objectives and the nature of the analysis. All animal procedures are in agreement with the S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University and the Committee for Veterinary Control and Supervision of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan (CVCS of MoA of RK), which are in accordance with international ethical standards (European Union Directive 2010/63/EU) legislation and ARRIVE (Animal Research Reporting of In Vivo Experiments) guidelines.

Molecular assays

Viral RNA extraction. All samples ($n = 15$) was randomly selected for molecular analysis by real-time RT-PCR. Total RNA was extracted from the 15 EDTA blood samples using the MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems) as per the test's instructions. Real-time reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-qPCR). BTV RNA was detected using the LSI VetMAX™ BTV NS3 All Genotypes kit (Applied Biosystems) according to the manufacturer's instructions. This kit targets the segment 10 of the viral genome that encodes NS3 protein, and it is based on specific duplex detection of the BTV by a FAM™-NFQ-labeled TaqMan® probe and the internal positive control by VIC™-TAMRA™. The reverse transcription and amplification were performed on an Applied Biosystems 7500 Fast Real-Time PCR System using the thermal cycler program: 45 °C for 10 min, 95 °C for 10 min, followed by 40 cycles of 95 °C for 15 s and 60 °C for 45 s. Fluorescence was measured at the 60 °C-45 s step. The interpretation of the test results was done according to the manufacturer's instructions. A sample is positive for BTV if there is a sigmoidal amplification curve in the FAM-NFQ channel and the Ct value is not higher than 40.

The International Epizootic Bureau's Manual on Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals was used to conduct the study [18, pp. 75017].

Viral RNA extraction. All samples ($n = 15$) were randomly selected for molecular analysis by real-time RT-PCR. Total RNA was extracted from 15 EDTA blood samples using the MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems) according to the test instructions. Real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) (qPCR). BTV RNA was amplified using the LSI VetMAX™ BTV NS3 All Genotypes Kit (Applied Biosystems) according to the manufacturer's instructions. This kit targets segment 10 of the viral genome, which encodes the NS3 protein, and is based on specific duplex detection of BTV using a FAM™-NFQ-labeled TaqMan® probe and an internal positive control using VIC™-TAMRA™. Reverse transcription and amplification were performed on an Applied Biosystems 7500 Fast Real-Time PCR System using the following thermocycler program: 45 °C for 10 min, 95 °C for 10 min, followed by 40 cycles of 95 °C for 15 s and 60 °C for 45 s. Fluorescence was measured at the 60 °C-45 s stage. Test results were interpreted according to the manufacturer's instructions. A sample is considered positive for BTV if a sigmoidal amplification curve is observed in the FAM-NFQ channel and the Ct value does not exceed 40. The International Epizootic Bureau's Manual on Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals [18, pp. 75017] was used to conduct the study.

Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (c-ELISA)

All the collected 10 sera were tested for antibodies against BTV-VP7 using ID Screen® bluetongue competition Kit (ID-Vet, France). The c-ELISA test was performed according to the manufacturer's instructions. The absorbance (optical density) of the ELISA test results was read at a wavelength of 450 nm. The percentage of inhibition was calculated using the following formula: % inhibition = [(OD sample/OD negative controls) × 100]. Serum samples with a percentage of inhibition lower than or equal to 35% were considered positive to BTV-VP7 antibodies, greater than 35% and less than or equal to 45% are considered doubtful, and higher than 45% are considered negative. The International Epizootic Bureau's Manual on Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals was used to conduct the study [18, pp. 75017].

Statistical Analysis

Statistical analysis of the data was performed using standard mathematical methods on a personal computer with Microsoft Office 2016 software.

Results

The results of the study of samples taken from sheep belonging to farms in various regions of the Republic of Kazakhstan, conducted during 2021-2025, are shown in Table 1.

As shown in Table 1, of the six samples collected in 2021 from a farm in the East Kazakhstan Region, one sample was tested for antibodies against BTV VP7 using the ID Screen® Bluetongue Competition ELISA Kit, and five samples were tested using real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR). All results were negative.

Of the six samples collected in 2022 from a farm in the Karaganda Region, three samples were tested using ELISA and three samples were tested using real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR); all test results were negative.

All three samples collected in 2023 from farms in the Kostanay and West Kazakhstan Regions were tested using real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR), and all yielded negative results.

Table 1 – Results of testing biological material samples using ELISA and PCR

No.	Name of the farm	Name of study and material	Years					Results
			2021	2022	2023	2024	2025	
			Number of samples tested by ELISA and PCR					
1	S. Karasay, Zaisan District, East Kazakhstan Region	ELISA, blood se- rum	1					negative
		PCR, oral muco- sal wash and whole blood	3					negative
		PCR, internal organs, and a piece of the brain	1					negative
		ELISA, blood se- rum	1					negative
2	P. Akadyr, Shet District, Karaganda Region	ELISA, blood se- rum		3				negative
		PCR, swab from the oral mucosa		3				negative
3	S. Oktyabrskoye, Karasusky District, Kostanay Region	PCR, pathological material			2			negative
4	Zhappas Agricultu- ral Cooperative, Kaztalovsky Dis- trict, West Kazakh- stan Region	PCR, internal organs			1			negative
5	S. Sarykol, Sarykol District, Kostanay Region	PCR, internal organs				1		negative
		ELISA, blood se- rum				1		negative
6	Mibulaksky Rural District, Ulytau District, Ulytau Region	ELISA, blood se- rum				2		negative
7	Rural district of M. Mamyr Karkara- linsky district Kara- ganda region	ELISA, blood se- rum					2	negative
		PCR, pathological material					1	negative
8	S. Zhartas, Abai District, Karaganda Region	PCR, internal organs					3	negative
	Total:		25					25

In 2024, of the two samples collected from a farm in the Kostanay Region, one sample was tested using ELISA and one sample was tested using PCR, and one sample collected from the Karaganda Region was tested using PCR. All tests yielded negative results.

When testing six samples collected in 2025 from farms in the Karaganda Region, two samples were examined using ELISA and four samples were examined using real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR). All test results were negative.

Thus, of the 25 samples collected from sheep on farms in various regions of the Republic of Kazakhstan, 15 samples were tested using real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR) following RNA extraction with the MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems), and 10 samples were tested for antibodies against BTV VP7 using the ID Screen® Bluetongue Competition ELISA Kit (IDvet, France).

Overall, the consistently negative results obtained using modern, highly sensitive diagnostic methods indicate the absence of bluetongue virus circulation in sheep farms in the Republic of Kazakhstan during the period 2021–2025.

Discussion. Bluetongue is a non-contagious arthropod-borne viral disease of livestock, causing severe economic losses. A highly concerted effort is needed to control this disease in endemic areas. This is further hampered by the existence of 27 BTV serotypes, which largely fail to cross-protect (most of which are circulating in India). This has made the goal of protective immunization against the disease particularly difficult

to achieve. Live attenuated or inactivated vaccines, based on all circulating local Indian strains of the virus, are not available. However, recent developments of inactivated or sub-unit vaccines may help to control the disease in the subcontinent. This may be the only alternative for the coming days. Continuous monitoring of the different strains of bluetongue virus circulating in a particular area is necessary for developing relevant diagnostics and vaccines. Surveillance and epidemiology in endemic areas are of great significance to control the entry of viruses into newer regions, including our country.

The bluetongue virus is actively evolving due to mutations and genetic reassortment among its serotypes. On the one hand, this represents a risk factor for the emergence of novel pathogenic serotypes; on the other hand, it necessitates preventive measures aimed at their timely detection. Global climate change contributes to the expansion of the habitats of insect vectors of bluetongue virus, thereby increasing the risk of disease emergence in new territories and the formation of endemic zones. The globalization of trade and economic relations also remains a significant factor in the spread of bluetongue through the movement of infected breeding livestock. The epizootic situation in neighboring Russia confirms that this route of bluetongue virus introduction is of particular importance. Therefore, control of bluetongue spread should include quarantine measures for imported livestock, vaccination—especially in endemic areas—and systematic surveillance studies.

To assess the epizootic situation of bluetongue in various regions of the Republic of Kazakhstan during 2021–2025, 25 samples were collected from sheep from farms in different regions of the country. Of these, 15 samples were tested using real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR) following RNA extraction with the MagMAX™ Viral RNA Isolation Kit (Applied Biosystems), and 10 samples were tested for antibodies against BTV VP7 using the ID Screen® Bluetongue Competition ELISA Kit (IDvet, France).

All tests yielded negative results, indicating the absence of bluetongue virus circulation in sheep farms in the Republic of Kazakhstan during the period 2021–2025.

The results obtained are consistent with data reported by domestic researchers [12, p. 319; 17, p. 72; 19, p. 491].

Conclusion

A study was conducted on 25 samples collected from sheep from farms located in various regions of the Republic of Kazakhstan. The samples were tested using real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-qPCR) and a competitive enzyme-linked immunosorbent assay (c-ELISA) to detect antibodies against the BTV VP7 protein.

Examination of the biological samples using modern, highly sensitive diagnostic methods yielded negative results, indicating the absence of bluetongue virus circulation in sheep farms in the Republic of Kazakhstan during the period 2021–2025.

Control of bluetongue spread should include compliance with quarantine measures for imported livestock, vaccination—especially in endemic areas—and systematic surveillance studies.

Acknowledgements

The authors are grateful to the management of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University for providing the opportunity to conduct this study.

REFERENCES:

1. Maclachlan N.J. **Bluetongue: History, global epidemiology, and pathogenesis.** *Preventive Veterinary Medicine*, 2011, 102(2), pp. 107–101.
2. Subhadra S., Sreenivasulu D., Pattnaik R., Panda B.K., Kumar S. **Bluetongue virus: Past, present, and future scope.** *J Infect Dev Ctries*, 2023, 17(2), pp. 147–156.
3. Gethmann J., Probst C., Conraths F.J. **Economic impact of a bluetongue serotype 8 epidemic in Germany.** *Front Vet Sci*, 2020, 7, pp. 65–76.
4. Rushton J., Lyons N. **Economic impact of bluetongue: a review of the effects on production.** *Vet Ital*, 2015, 51, pp. 401–406.
5. Leeuw V.V., Leeuw I.D., Degives N., et al. **Impact of BTV-3 Circulation in Belgium in 2024 and Current Knowledge Gaps Hindering an Evidence-Based Control Program.** *Viruses*, 2025, 17, pp.521-539.
6. Lorusso A., Guercio A., Purpari G., et al. **Bluetongue virus serotype 3 in Western Sicily.** *Vet. Ital.*, 2017, 53, pp. 273–275.
7. Niedbalski W. **Bluetongue Virus in Europe: The Current Epidemiological Situation.** *Med. Weter.*, 2022, 78, pp. 109–114.
8. Holwerda M., Santman-Berends I.M.G.A., Harders F., et al. **Emergence of Bluetongue Virus Serotype 3 in the Netherlands in September 2023.** *Emerg. Infect. Dis.*, 2024, 30, pp. 1552–1561.
9. Ayuti S.R., Khairullah A.R., Lamid M., et al. **Bluetongue in ruminants: Global epidemiology, pathogenesis, and advances in diagnostic and control strategies within a One Health framework.** *Veterinary World*, 2025, 18(10), pp. 3070–3093.
10. Van den Brink K.M.J.A., Santman-Berends I.M.G.A., Harkema L., et al. **Bluetongue virus serotype 3 in ruminants in the Netherlands: Clinical signs, seroprevalence and pathological findings.** *Vet. Rec.*, 2024, 195(4), art. e4533. <https://doi.org/10.1002/vetr.4533>.

11. Daif S., El Berbri I., Lhor Y., Fihri O.F. Serological and molecular prevalence study of bluetongue virus in small domestic ruminants in Morocco. *Sci. Rep.*, 2022, 12(1), art. 19448. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24067-y>.
12. Kurmanbekova Z., Koshemetov Z., Seisenbaeva M., Abduraimov Y., Zhugunissov K. Improved efficiency of bluetongue viral antigen isolation for successful immunization. *Int. J. Vet. Sci.*, 2023, 12(3), pp. 318–323.
13. Lean F.Z.X., Neave M.J., White J.R., et al. Attenuation of bluetongue virus (BTV) in an in ovo model is related to the changes of viral genetic diversity of cell-culture passaged BTV. *Viruses*, 2019, 11(5), art. 481.
14. Bréard E., Turpaud M., Beaud G., et al. Development and validation of an ELISA for the detection of bluetongue virus serotype 4-specific antibodies. *Viruses*, 2021, 13(9), art. 1741.
15. Gethmann J., Probst C., Conraths F.J. Economic impact of a bluetongue serotype 8 epidemic in Germany. *Front. Vet. Sci.*, 2020, 7(1), art. 65.
16. Subhadra S., Sreenivasulu D., Pattnaik R., Panda B.K., Kumar S. Bluetongue virus: Past, present, and future scope. *J. Infect. Dev. Ctries.*, 2023, 17(2), pp. 147–156.
17. Zhigailov A.V., Ostapchuk Y.O., Perfilyeva Y.V., et al. Analiz riskov rasprostraneniya kataralnoj lihoradki ovec v Kazahstane [Analysis of the risks of the spread of catarrhal fever in sheep in Kazakhstan]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta*, 2022, 2(106), pp. 71–81. (In Russian)
18. OIE – Terrestrial Animal Health Code. Infection with Bluetongue Virus. *World Organisation for Animal Health*. Paris, 2019, 2(8.3.), art. 75017.
19. Abdrakhmanov, S.K., Beisembayev, K.K., Sultanov, A.A., et al. Modelling bluetongue risk in Kazakhstan. *Parasites and Vectors*, 2021, 14, pp. 491–498.

Information about the authors:

Zhakenova Aigerim Yerkinzy – PhD student, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87022578597, e-mail: aigerim.zhakenova@bk.ru.

Abdrakhmanov Sarsenbay Kadyrovich – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Director of the Institute of Animal Sciences and Veterinary Medicine, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87013881467, e-mail: s_abdrakhmanov@mail.ru.

Shynybaev Kuandyk Mukhmetkaliyevich – Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, Department of bacteriology, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Republic of Kazakhstan, 050016, Almaty, 223 Raiymbek Ave., tel.: 87478085988, e-mail: shynybaev.k@mail.ru.

Bizhanov Alim Baizhanovich* – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher, Department of bacteriology, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Republic of Kazakhstan, 050016, Almaty, 223 Raiymbek Ave., tel.: 8773701240, e-mail: alimakyntai@mail.ru.

Жакенова Айгерім Еркінқызы – PhD докторант, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: 87022578597, e-mail: aigerim.zhakenova@bk.ru.

Абдрахманов Сарсенбай Кадырович – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, жануарлар ғылымы және ветеринария институтының директоры, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: 87013881467, e-mail: s_abdrakhmanov@mail.ru.

Шыныбаев Куандық Мухаметкалиевич – ветеринария ғылымдарының кандидаты, бактериология бөлімінің жетекші ғылыми қызметкері, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 050016, Алматы қ., Райымбек даңғ., 223, тел.: 87478085988, e-mail: shynybaev.k@mail.ru.

Бижанов Алим Байжанович* – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, бактериология бөлімінің бас ғылыми қызметкері, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 050016, Алматы қ., Райымбек даңғ., 223, тел.: 8773701240, e-mail: alimakyntai@mail.ru.

Жакенова Айгерім Еркінқызы – PhD докторант, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Жениса 62, тел.: 87022578597, e-mail: aigerim.zhakenova@bk.ru.

Абдрахманов Сарсенбай Кадырович – доктор ветеринарных наук, профессор, директор института науки о животных и ветеринарии, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Жениса 62, тел.: 87013881467, e-mail: s_abdrakhmanov@mail.ru.

Шыныбаев Куандык Мухаметкалиевич – кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник отдела бактериологии, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», Республика Казахстан, 050016, г. Алматы, пр. Райымбека 223, тел.: 87478085988, e-mail: shynybaev.k@mail.ru.

Бижанов Алим Байжанович* – доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела бактериологии, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», Республика Казахстан, 050016, г. Алматы, пр. Райымбека 223, тел.: 87773701240, e-mail: alimakyntai@mail.ru.

МРНТИ 68.39.29; 68.41.41

УДК 636.2.034

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621039>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВА МОЛОЧНОГО СТАДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ И СЕКСИРОВАННОГО СЕМЕНИ

Жолдасбеков А.К. – магистр ветеринарных наук, научный сотрудник аграрного инновационно-технологического парка, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Республика Казахстан.

Абугалиев С.К. – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник аграрного инновационно-технологического парка, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Республика Казахстан.

Смагулов Д.Б. – Ph.D, ассоциированный профессор, директор аграрного инновационно-технологического парка, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Республика Казахстан.

Жубантаев И.Н.* – кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе и международным связям, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Республика Казахстан.

В данной статье рассмотрены современные подходы к совершенствованию воспроизводства молочного стада на основе применения ультразвуковой диагностики и дифференцированных схем гормональной коррекции. Целью исследования являлась оценка эффективности использования ультразвукового метода для ранней диагностики стельности и выявления гинекологических патологий у коров, а также анализ результатов их последующего лечения. Исследования проведены в условиях крестьянского хозяйства на поголовье 133 коров. Животные находились в одинаковых условиях содержания и кормления, соответствующих зоотехническим нормам. Установлено, что УЗИ по сравнению с ректальной пальпацией позволяет выявлять большее количество особей с репродуктивными нарушениями (24 случая против 19), а также обеспечивает более точное определение физиологического состояния животных. В структуре выявленных патологий преобладали гипофункция яичников, эндометрит и фолликулярные кисты. Применение дифференцированных схем лечения позволило восстановить репродуктивную функцию у 79,2% животных, при этом наибольшая эффективность отмечена при гипофункции яичников (85,7%), наименьшая – при эндометрите (66,7%). Полученные результаты свидетельствуют о высокой практической значимости инновационных методов диагностики в системе управления воспроизводством молочного стада на базе хозяйств региона.

Ключевые слова: молочное скотоводство, воспроизводство стада, ультразвуковая диагностика, гинекологические патологии, гипофункция яичников, гормональная терапия, сексированное семя.

СҮТТІ ІРІ ҚАРА МАЛ ТАБЫНЫҢ ҰДАЙЫ КӨБЕЮІН УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ ДИАГНОСТИКА ЖӘНЕ ЖЫНЫСЫ СҰРЫПТАЛҒАН ҰРЫҚТЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ЖЕТІЛДІРУ

Жолдасбеков Ә.Қ. – ветеринарлық ғылымдарының магистрі, аграрлық инновациялық-технологиялық паркінің ғылыми қызметкері, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Абугалиев С.Қ. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, аграрлық инновациялық-технологиялық паркінің бас ғылыми қызметкері, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Смағұлов Д.Б. – Ph.D, қауымдастырылған профессор, аграрлық инновациялық-технологиялық паркінің директоры, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Жұбантаев І.Н.* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ғылыми жұмыс және халықаралық қатынастар жөніндегі проректор, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада сүтті ірі қара мал табынының көбею қабілетін жетілдіруге бағытталған заманауи тәсілдер қарастырылған, оның ішінде ультрадыбыстық диагностика мен дифференциалды гормондық түзету сұлбаларын қолдану мәселелері. Зерттеудің мақсаты – сиырлардың жүктілігін ерте анықтау және гинекологиялық патологияларды айқындау үшін ультрадыбыстық әдістің тиімділігін бағалау, сондай-ақ кейін жүргізілген емдеу нәтижелерін сараптау болып табылады. Зерттеу 133 бас сиыр өсіретін шаруа қожалығы жағдайында жүргізілді. Барлық жануарлар бірдей күтіп-бағу және азықтандыру жағдайларында, зоотехникалық талаптарға сәйкес ұсталды. Нәтижелер бойынша, тік ішек арқылы пальпациялау әдісімен салыстырғанда УДЗ репродуктивтік бұзылыстары бар дарақтарды көбірек анықтауға мүмкіндік береді (19 жағдаймен салыстырғандағы 24) және олардың физиологиялық күйін дәлірек бағалауды қамтамасыз етеді. Анықталған патологиялар құрылымында аналық бездердің гипофункциясы, эндометрит және фолликулярлық кисталар басым болды. Дифференциалды емдеу тәсілін қолдану нәтижесінде зардап шеккен жануарлардың 79,2% репродуктивтік функция қалпына келтірілді. Ең жоғары тиімділік аналық без гипофункциясы кезінде (85,7%), ал ең төменгі көрсеткіш эндометрит жағдайында (66,7%) байқалды. Алынған нәтижелер сүтті ірі қара мал шаруашылығында репродуктивтік басқаруды жетілдіруде инновациялық диагностикалық әдістердің жоғары практикалық маңызын айқындаған.

Түйінді сөздер: сүтті ірі қара мал шаруашылығы, табынның көбеюі, ультрадыбыстық диагностика, гинекологиялық патологиялар, аналық бездердің гипофункциясы, гормондық терапия, жынысы бойынша сұрыпталған шәует.

IMPROVEMENT OF DAIRY HERD REPRODUCTION USING ULTRASONOGRAPHIC DIAGNOSTICS AND SEXED SEMEN

Zholdasbekov A.K. – Master of Veterinary Sciences, Researcher of the Agrarian Innovation-Technology Park, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

Abugaliyev S.K. – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Agrarian Innovation-Technology Park, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan

Smagulov D.B. – Ph.D, Associate Professor, Director of the Agrarian Innovation-Technology Park, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

Zhubantayev I.N.* – Candidate of Agricultural Sciences, Vice-Rector for Research and International Relations, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

The article examines modern approaches to improving the reproductive performance of dairy herds based on the application of ultrasound diagnostics and differentiated hormonal correction protocols. The objective of the study was to evaluate the effectiveness of ultrasonographic methods for early pregnancy diagnosis and the identification of gynecological disorders in cows, as well as to analyze the outcomes of subsequent therapeutic interventions. The research was conducted under the conditions of a peasant farm involving a herd of 133 cows. All animals were maintained under uniform housing and feeding conditions in accordance with established livestock standards. It was established that, compared to rectal palpation, USG allows for the detection of a higher number of animals with reproductive disorders (24 cases versus 19 cases), and provides a more accurate assessment of the physiological state of the animals. Among the identified pathologies, ovarian hypofunction, endometritis, and follicular cysts were predominant. The application of differentiated treatment protocols resulted in the restoration of reproductive function in 79.2% of the affected animals. The highest therapeutic effectiveness was observed in cases of ovarian hypofunction (85.7%), while the lowest success rate was recorded in cases of endometritis (66.7%). The obtained results demonstrate the high practical significance of innovative diagnostic approaches in managing reproductive efficiency in dairy cattle production systems at the farm level.

Keywords: dairy cattle breeding, herd reproduction, ultrasonographic diagnostics, gynecological disorders, ovarian hypofunction, hormonal therapy, sexed semen.

Введение. Эффективное воспроизводство является одним из ключевых факторов устойчивого развития молочного скотоводства и повышения его экономической рентабельности. В условиях интенсификации отрасли возрастает нагрузка на репродуктивную систему животных, что приводит к увеличению частоты гинекологических заболеваний, удлинению сервис-периода и росту числа яловых коров. Особенно актуальной данная проблема является для хозяйств Северо-Казахстанской области, где воспроизводительные показатели во многом определяют темпы обновления стада и селекционно-генетический прогресс.

Использование семени быков-производителей американской и канадской селекции позволяет получать более скороспелых телок. Во многих хозяйствах при интенсивных технологиях выращивания

животные достигают массы 380-400 кг в возрасте 13-14 месяцев и могут быть плодотворно осеменены [1, с. 50; 2, с. 4728].

Применение сексированного семени позволяет обеспечивать до 30-35% ежегодного обновления дойного стада за счёт собственного молодняка. Поскольку однополое семя отличается от обычного, эффективность её использования зависит от тщательного планирования и подготовки как животных, так и спермопродукции. При её применении можно получать здоровых телок для ремонта стада, однако необходимо соблюдать ряд принципов, включая правильный подбор коров и телок для осеменения, а также надлежащее обращение со спермопродукцией [3, с. 188; 4, с. 67; 5, с. 3].

Результативность использования семени, разделенного по полу, основной фактор его лимитированного распространения в производственной практике, основной причиной тому является отсутствие высококвалифицированных специалистов в области воспроизводства. Концентрация такого биоматериала примерно в 10 раз ниже по сравнению с обычным, а в процессе подготовки подвергается ряду стресс-факторов, негативно влияющих на оплодотворяющую способность сперматозоидов. При существующих методах осеменения в скотоводстве оплодотворяемость яйцеклеток коров в среднем составляет 85% с колебаниями от 60 до 90%. При таких показателях лишь около 45% коров после однократного осеменения приносят телят. С учётом этого уровень стельности, фиксируемый через 3 месяца после однократного осеменения и достигающий 55%, считается очень хорошим показателем [6, с. 89].

Цель исследования – оценить эффективность применения ультразвуковой диагностики в системе воспроизводства молочного стада, включая раннее выявление стельности, диагностику гинекологических патологий и результаты их лечения.

Задачи исследования:

- оценить диагностическую эффективность ультразвукового метода по сравнению с ректальной пальпацией;
- изучить структуру гинекологических патологий у коров;
- проанализировать эффективность дифференцированных схем лечения при различных репродуктивных нарушениях;
- определить влияние проведённых мероприятий на восстановление репродуктивной функции животных.

Материал и методы. Исследования проводились в рамках программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан 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».

Научно-производственные опыты выполнены в КХ «Кедр» Акжайынского района Северо-Казахстанской области. Объектами исследования являлись телки в возрасте 13-15 месяцев и коровы первого отёла. В качестве материалов использовались данные первичного зоотехнического и племенного учёта, а также результаты экспериментальных исследований.

В хозяйстве были сформированы группы животных, которым проводилось искусственное осеменение с использованием системы Alhfa Vision (Франция). Осеменение осуществляли сексированным семенем быка симментальской породы Hotsummer – DE0958740941, приобретённым в дистрибьюторском центре ТОО «Таурус». Были сформированы опытные группы телок симментальской породы в возрасте 14-16 месяцев со средней живой массой 350-380 кг.

Ранняя диагностика стельности осуществлялась с использованием портативного ветеринарного ультразвукового сканера Easi-Scan Go Scanner Curve с ректальным датчиком и очками для визуализации Easi-Scan Go Scanner Curve со встроенными SVGA-дисплеями. Также использовался держатель зонда для ESG Linear and Curve (820 мм). Определение стельности методом ультразвукового исследования проводили на ранних сроках – с 30-го дня после осеменения.

Исследование носило производственный характер и выполнялось в условиях действующего хозяйства без формирования контрольной группы, что рекомендуется учитывать при интерпретации результатов.

Результаты исследований и их обсуждение. Зачастую забиваемые на бойне коровы оказываются стельными с 4-5-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. По результатам анализа использования разных методов определения стельности, более достоверный результат получают при помощи УЗИ-диагностики [7, с. 45; 8, с. 20; 9, с. 178].

Для ускорения селекционного процесса необходимо получение большего количества маточного поголовья, что достигается внедрением современных достижений в области биотехнологии, а именно, использованием разделенного по полу семени быков-производителей. Прогнозируется получение от использования сексированного семени не менее 90% телок, что обеспечивает экономическую эффективность проводимых исследований [10, с. 38].

В исследовании осеменяли только клинически здоровых и физиологически зрелых тёлочек. Осеменение взрослых коров не проводилось ввиду возможных послеродовых нарушений генитального аппарата и репродуктивной системы.

Для повышения эффективности использования сексированного семени в хозяйстве была проведена гормональная синхронизация половой охоты у 20 тёлочек. Схема синхронизации представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Протокол синхронизации

№	День	Препарат	Назначение
1	0	Гонадорелин (GnRH)	Стимуляция овуляции доминантного фолликула, начало новой фолликулярной волны
2	7	Простагландин F2α (PGF ₂ α)	Лизис жёлтого тела
3	9	Повторный GnRH	Индукция овуляции
4	10	Через 16-20 часов после второго GnRH искусственное осеменение сексированным семенем	

Протокол включал введение гонадорелина (GnRH) на 0-й день для индукции овуляции и запуска новой фолликулярной волны, простагландина F2α на 7-й день для лизиса жёлтого тела и повторного GnRH на 9-й день с последующим искусственным осеменением через 16-20 часов. Данная схема синхронизации позволила:

- скоординировать сроки овуляции у тёлочек;
- упростить организацию массового осеменения;
- повысить % оплодотворения за счёт более точного расчёта времени введения семени.

Определение стельности – важная экономическая составляющая работы молочной фермы. При ректальном методе специалист может установить стельность в 2 месяца. Диагностика с помощью УЗИ сканера позволяет ставить точные диагнозы на более ранних сроках (на 35-45 день). Можно, конечно, определить стельность и на 28-31 день после осеменения, но есть риск эмбриональной смертности, кроме того, сканеры помогают обнаружить гинекологические проблемы и заболевания, нежели традиционная ручная пальпация.

В этой связи была проведена гинекологическая диспансеризация 133 коров с целью выявления репродуктивных нарушений и оценки их физиологического состояния. Сравнительный анализ ультразвукового метода и ректальной пальпации представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная оценка эффективности двух методов диагностики

№	Показатели	УЗИ-сканер	Ручная пальпация
1	Стельные	28	25
2	Нестельные	105	108
3	С заболеваниями	24	19

Установлено, что при УЗИ выявлено 28 стельных коров, тогда как при ректальной пальпации – 25 голов, что подтверждает более высокую чувствительность ультразвукового метода на ранних сроках диагностики. Кроме того, с помощью данного метода диагностики выявлено 24 животных с патологией репродуктивной системы, тогда как при пальпации – 19. Различия по числу яловых коров незначительны (105 и 108 соответственно).

Полученные результаты свидетельствуют о более высокой диагностической эффективности ультразвукового метода как в отношении раннего определения стельности, так и выявления гинекологических патологий. Данные согласуются с результатами ранее опубликованных исследований [11, с. 48; 12, с. 6975].

Как следовало ожидать, ультразвуковая диагностика позволила не только определить наличие стельности уже на 28-31 день после осеменения, но и визуализировать такие важные физиологические процессы, как рост и развитие фолликулов, овуляция, формирование жёлтого тела, а также наличие кистозных образований в яичниках. Кроме того, метод УЗИ предоставляет возможность контролировать эффективность гормональной терапии и отслеживать динамику физиологических изменений в половых органах животного. В отличие от пальпации, ультразвуковое исследование обладает большей точностью, снижает риск стрессовых реакций у животных и способствует раннему принятию управленческих решений в стаде.

При клинико-гинекологическом обследовании 24 коров с нарушениями репродуктивной функции выявлены гипопункция яичников, фолликулярные кисты и эндометрит (табл. 3).

Таблица 3 – Сравнительная оценка разных методов ректальных исследований

№	Вид патологии	УЗИ-сканер	Ручная пальпация
1	Гипофункция яичников	14	10
2	Фолликулярная киста	4	4
3	Эндометрит	6	5
Всего:		24	19

УЗИ позволило обнаружить на 26,3% больше патологических случаев по сравнению с ректальной пальпацией. Наибольший удельный вес составила гипофункция яичников – 14 случаев (58,3%), что указывает на высокую распространённость овариальных дисфункций и необходимость регулярного мониторинга, особенно в ранний послеродовой период.

В процессе проведения ультразвуковых исследований бесплодных коров, были отмечены следующие гиперэхогенные изменения: эхогенная структура обусловлена скоплением гнойного экссудата в полости матки (рис. 1 и 2).

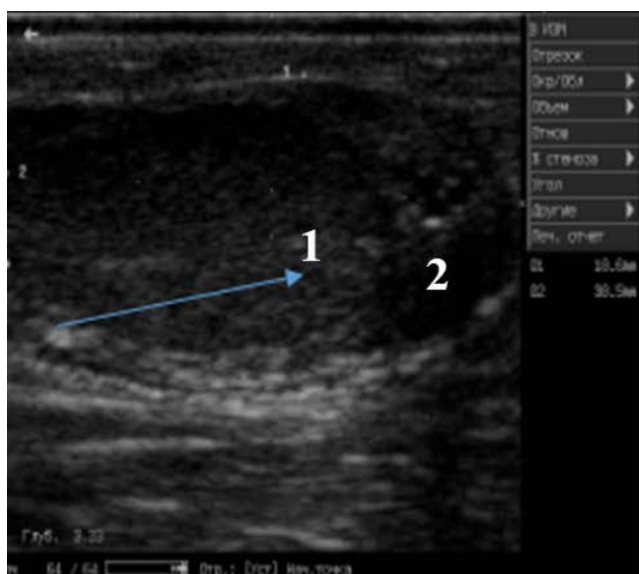


Рисунок 1 – Эндометрит:
эхогенное содержимое в полости матки (1)
фолликулярная киста в яичнике (2)

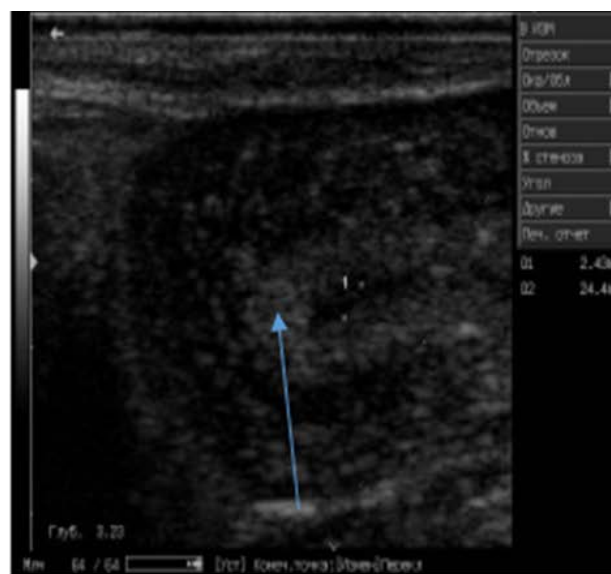


Рисунок 2 – В полости матки отмечены
гнойные скопления

Эндометрит диагностирован у 6 коров (25,0%), фолликулярные кисты – у 4 (16,7%). Эндометрит, как правило, развивается в послеродовом периоде и существенно снижает оплодотворяемость, а при хроническом течении может приводить к стойкому бесплодию. Фолликулярные кисты связаны с нарушением гипоталамо-гипофизарной регуляции и требуют гормональной коррекции.

Таким образом, основными причинами снижения репродуктивной функции у коров в хозяйстве являются овариальные дисфункции и воспалительные процессы в половых органах. Это подтверждает необходимость комплексного подхода, включающего клиническую и ультразвуковую диагностику, а также своевременные лечебно-профилактические мероприятия.

С целью восстановления репродуктивной способности животных и повышения эффективности воспроизводства были применены дифференцированные схемы лечения с учётом диагноза, физиологического состояния животных и тяжести патологического процесса. У коров с диагностированной гипофункцией яичников применялась гормональная стимуляция овуляции. Использовали препараты гонадотропного действия, в т.ч. аналоги гонадотропин-рилизинг-гормона (ГнРГ), хорионический гонадотропин (ХГЧ) и ФСГ-содержащие средства. В некоторых случаях терапия дополнялась витаминами группы В и препаратами, улучшающими обмен веществ (метаболическая поддержка). Положительный результат был достигнут в течение 5-10 дней после начала терапии у большинства животных.

В основном использовались ГнРГ-препараты с последующим введением простагландинов (ПГФ2α) для стимуляции регрессии кисты и восстановления цикла. Терапевтический эффект достигнут в течение 10-14 дней у большинства коров, однако у отдельных животных потребовалось повторное вмешательство.

Для лечения эндометрита применялась комплексная терапия, включающая:

- внутриматочное введение антисептиков / антибиотиков (в зависимости от формы заболевания);
- системную антибактериальную терапию (при выраженной воспалительной реакции);
- простагландины для стимуляции сокращения матки и выведения экссудата.

Период лечения составил от 10 до 20 дней в зависимости от степени выраженности воспаления (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты лечения коров с нарушениями репродуктивной функции

№	Вид патологии	Количество животных, получивших лечение	Вылечено	
			голов	%
1	Гипофункция яичников	14	12	85,7
2	Фолликулярная киста	4	3	75,0
3	Эндометрит	6	4	66,7
Итого:		24	19	79,2

По данным таблицы 4 установлено, что из 24 голов с нарушениями воспроизводительных функций вылечено 19 голов, или 79,2%. Применение различных схем лечения в зависимости от типа патологии дало положительный результат. У большинства коров удалось восстановить репродуктивную функцию, уменьшилось количество яловых животных и повысилась эффективность осеменения.

Таким образом, современная ультразвуковая диагностическая аппаратура позволяет выявлять у коров и телок ранние стадии стельности и бесплодия, диагностировать многоплодие, вести мониторинг развития зародыша, определять возраст плода и его пол. Важность раннего определения стельности – это, в первую очередь, даже не биологический, а экономический вопрос развития животноводства в хозяйстве. Каждый день бесплодия приносит хозяйству убытки, складывающиеся из недополученного молока, недополученного теленка и затрат на содержание яловой коровы. Использование вышеуказанных методов диагностики акушерско-гинекологических заболеваний позволит вести точный учет воспроизводства стада, и, соответственно, понизить экономические расходы.

Полученные данные подтверждают, что ультразвуковая диагностика является высокоэффективным инструментом не только раннего выявления стельности, но и диагностики репродуктивных нарушений, что позволяет повысить результативность лечебных мероприятий и эффективность управления воспроизводством стада.

Заключение

Применение ультразвуковой диагностики в системе воспроизводства молочного стада позволяет повысить точность определения физиологического состояния животных и своевременно выявлять гинекологические патологии. Установлено, что использование данного метода способствует более эффективному проведению лечебных мероприятий, что подтверждается восстановлением репродуктивной функции у 79,2% животных. Наиболее высокая эффективность лечения отмечена при гипофункции яичников, что указывает на перспективность ранней диагностики и своевременной коррекции данного состояния. Полученные результаты подтверждают целесообразность широкого внедрения ультразвуковых технологий в практику молочного скотоводства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мунгин, В.В., Гибалкина, Н.И., Ненюкова, Е.В., Чернобровкина, Н.В. **Экономическое обоснование живой массы и возраста при плодотворном осеменении телок красно-пестрой породы, полученных от быков разных линий** [Текст] / В.В. Мунгин, Н.И. Гибалкина, Е.В. Ненюкова, Н.В. Чернобровкина // Аграрный научный журнал. – 2022. – No8. – С.50-52. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp50-52>.
2. Caraviello, D.Z., Weigel, K.A., Fricke, P.M., Wiltbank, M.C., Florent, M.J., Cook, N.B. et al. **Survey of management practices on reproductive performance of dairy cattle on large US commercial farms** [Текст] / D.Z. Caraviello, K.A. Weigel, P.M. Fricke, M.C. Wiltbank, M.J. Florent, N.B. Cook, K.V. Nordlund, N.R. Zwald, C.L. Rawson // Journal of Dairy Science. – 2006. – No89 (12). – С.4723-4735. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72522-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72522-X).
3. Гаврилов, Б.В., Коваль, И.В., Богатырь, М.В., Целикова, А.А. **Применение сексированной спермы в молочном скотоводстве** [Текст] / Б.В. Гаврилов, И.В. Коваль, М.В. Богатырь, А.А. Целикова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2023. – No10 (199). – С.187-193. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-10-187-193>.
4. Калмагамбетов, М.Б., Монгуш, М.С., Бекенов, Д.М., Алентаев, А.С., Баймуканов, А.Д. **Анализ эффективности искусственного осеменения коров сексированным семенем** [Текст] / М.Б. Калмагамбетов, М.С. Монгуш, Д.М. Бекенов, А.С. Алентаев, А.Д. Баймуканов // Вестник Тувинского государственного университета. – 2022. – No2 (93). – С.63-73. <https://doi.org/10.24411/2221-0458-2022-93-63-73>.
5. Abugaliev, S., Babich, E., Smagulov, D., Shvetsova, T., Mukhtarov, N. **Variability growth rate of young dairy breeds depending on their immune status** [Текст] / S. Abugaliev, E. Babich, D. Smagulov, T. Shvetsova, N. Mukhtarov // Brazilian Journal of Biology. – 2025. – No85. – e298456. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.298456>.

6. Мунгин, В.В., Гибалкина, Н.И., Чернобровкина, Н.В. Динамика живой массы телок, полученных от обычного и сексированного семени [Текст] / В.В. Мунгин, Н.И. Гибалкина, Н.В. Чернобровкина // Аграрный научный журнал. – 2024. – No1. – С.88-91. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp88-91>.
7. Джакупов, И.Т., Жаркимбаева, Ж.З., Жарылгасынов, С.С. Устройство для диагностики беременности и бесплодия у коров [Текст] / И.Т. Джакупов, Ж.З. Жаркимбаева, С.С. Жарылгасынов // Ветеринария. – 2020. – No4. – С.45-48. URL: <http://journalveterinariya.ru/soderzhanie-no4-2020-g>. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.4.45-48>.
8. Smagulov, D.B., Tulebayev, B., Arystanova, A.K., Makhimova, J.N. Ultrasound sonography of fetal development during fetogenesis of edilbay ewes in different multiplicity gestation [Текст] / D.B. Smagulov, B. Tulebayev, A.K. Arystanova, J.N. Makhimova // Science and Education. – 2020. – No1-1 (58). – С.19-23.
9. Fricke, P.M., Ricci, A., Giordano, J.O., Carvalho, P.D. Methods for and implementation of pregnancy diagnosis in dairy cows [Текст] / P.M. Fricke, A. Ricci, J.O. Giordano, P.D. Carvalho // Veterinary Clinics: Food Animal Practice. – 2016. – No32 (1). – С.165-180. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.006>.
10. Ляшенко, В.В. и др. Эффективность осеменения коров-первотелок голштинской породы сексированным семенем на современном молочном комплексе [Текст] / В.В. Ляшенко и др. // Зоотехния. – 2021. – No9. – С.36-39. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.57.40.010>.
11. Аbugалиев, С.К., Насамбаев, Е.Г., Алентаев, А.С., Смагулов, Д.Б., Есенгалиев, К.Г., Жолдасбеков, А.К. Рекомендация по дозированию и кратности кормления телят молозивом [Текст] / С.К. Аbugалиев, Е.Г. Насамбаев, А.С. Алентаев, Д.Б. Смагулов, К.Г. Есенгалиев, А.М. Давлетова, А.К. Жолдасбеков. – Уралск: ЗКИТУ, 2024. – ISBN 978-601-319-554-4.
12. Madoz, L.V., Lorenti, S.N., Rearte, R., Quintero-Rodriguez, L., Migliorisi, A.L., Jaureguiberry, M. et al. Detection of nonpregnant cows and potential embryo losses by color Doppler ultrasound and interferon-stimulated gene expression in grazing dairy cows [Текст] / L.V. Madoz, S.N. Lorenti, R. Rearte, L. Quintero-Rodriguez, A.L. Migliorisi, M. Jaureguiberry, C. Gabler, M. Drillich, R.L. Sota // Journal of Dairy Science. – 2022. – No105 (8). – С.6973-6984. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21171>.

REFERENCES:

1. Mungin V.V., Gibalkina N.I., Nenyukova E.V., Chernobrovkina N.V. E'konomicheskoe obosnovanie zhivoj massy' i vozrasta pri plodotvornom osemenenii telok krasno-pestroj porody', poluchenny'h ot by'kov razny'h linij [Economic rationale for live weight and age during fruitful insemination of red-and-white heifers obtained from bulls of different lines]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2022, vol. 8, pp. 50-52. (In Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp50-52>.
2. Caraviello D.Z., Weigel K.A., Fricke P.M., Wiltbank M.C., Florent M.J., Cook N.B. et al. Survey of management practices on reproductive performance of dairy cattle on large US commercial farms. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89, no. 12, pp. 4723-4735. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72522-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72522-X).
3. Gavrilov B.V., Koval I.V., Bogatyr M.V., Celikova A.A. Primenenie seksirovannoj spermy' v molochnom skotovodstve [The use of sexed semen in dairy farming]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023, vol. 10, no. 199, pp. 187-193. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-10-187-193>. (In Russian)
4. Kalmagambetov M.B., Mongush M.S., Bekenov D.M., Alentaev A.S., Bajmukanov A.D. Analiz e'fektivnosti iskusstvennogo osemeneniya korov seksirovanny'm semenem [Analysis of the effectiveness of artificial insemination of cows with sexed seed]. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, vol. 2, no. 93, pp. 63-73. <https://doi.org/10.24411/2221-0458-2022-93-63-73>. (In Russian)
5. Abugaliev S., Babich E., Smagulov D., Shvetsova T., Mukhtarov N. Variability growth rate of young dairy breeds depending on their immune status. *Brazilian Journal of Biology*, 2025, vol. 85, e298456. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.298456>.
6. Mungin V.V., Gibalkina N.I., Chernobrovkina, N.V. Dinamika zhivoj massy' telok, poluchenny'h ot obychnogo i seksirovannogo semeni [Dynamics of live weight of heifers obtained from regular and sexed semen]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2024, vol. 1, pp. 88-91. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp88-91>. (In Russian)
7. Dzhakupov I.T., Zharkimbaeva Zh.Z., Zharylgasynov S.S. Ustrojstvo dlya diagnostiki beremennosti i besplodiya u korov [Device for diagnosis of pregnancy and infertility in cows]. *Veterinary*, 2020, vol. 4, pp. 45-48. URL: <http://journalveterinariya.ru/soderzhanie-no4-2020-g>. (In Russian)
8. Smagulov D.B., Tulebayev B., Arystanova A.K., Makhimova J.N. Ultrasound sonography of fetal development during fetogenesis of edilbay ewes in different multiplicity gestation. *Science and Education*, 2020, vol. 1-1, no. 58, pp. 19-23.
9. Fricke P.M., Ricci A., Giordano J.O., Carvalho P.D. Methods for and implementation of pregnancy diagnosis in dairy cows. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 2016, vol. 32, no. 1, pp. 165-180. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2015.09.006>.
10. Lyashenko V.V., et al. E'fektivnost' osemeneniya korov-pervotelok golshtinskoj porody' seksirovanny'm semenem na sovremennom molochnom komplekse [The effectiveness of insemination

of Holstein first-calf cows with sexed semen at a modern dairy complex]. *Zootekhnika*, 2021, vol. 9, pp. 36-39. <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.57.40.010>. (In Russian)

11. **Abugaliev S.K., Nasambaev E.G., Alentaev A.S., et al. Rekomendaciya po dozirovaniyu i kratnosti kormleniya telyat molozivom** [Recommendations on the dosage and frequency of feeding calves with colostrum]. Uralsk, WKATU, 2024. ISBN 978-601-319-554-4. (In Russian)

12. **Madoz L.V., Lorenti S.N., Rearte R., Quintero-Rodriguez L., Migliorisi A.L., Jaureguiberry M. et al. 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*, 2022, vol. 105, no. 8, pp. 6973-6984. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21171>.

Сведения об авторах:

Жолдасбеков Адилбек Калдарбекович – магистр ветеринарных наук, научный сотрудник аграрного инновационно-технологического парка, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, 43А, тел.: 87021547392, e-mail: adilzhol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0060-9513>.

Абугалиев Серимбек Құрманбаевич – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник аграрного инновационно-технологического парка, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, 43/2, тел.: 87017331453, e-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>.

Смағұлов Дархан Бақытбекович – Ph.D, ассоциированный профессор, директор аграрного инновационно-технологического парка, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, 43/2, тел.: 87074748008, e-mail: dark.smagul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8992-2244>.

Жубантаев Изимғали Нұрымович* – кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе и международным связям, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», Республика Казахстан, 090000, г. Уральск, ул. Громова, 16, тел.: 87758821591, e-mail: zhubantayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9218-5414>.

Жолдасбеков Әділбек Қалдарбекұлы – ветеринарлық ғылымдарының магистрі, аграрлық инновациялық-технологиялық паркінің ғылыми қызметкері, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, 090009, Орал қ., Жәңгір хан көш., 43А, тел.: 87021547392, e-mail: adilzhol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0060-9513>.

Абугалиев Серімбек Құрманбайұлы – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, аграрлық инновациялық-технологиялық паркінің бас ғылыми қызметкері, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, 090009, Орал қ., Жәңгір хан көш., 43/2, тел.: 87017331453, e-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>.

Смағұлов Дархан Бақытбекұлы – Ph.D, қауымдастырылған профессор, аграрлық инновациялық-технологиялық паркінің директоры, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, 090009, Орал қ., Жәңгір хан көш., 43/2, тел.: 87074748008, e-mail: dark.smagul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8992-2244>.

Жұбантаев Ізімғали Нұрымұлы* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ғылыми жұмыс және халықаралық қатынастар жөніндегі проректор, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, 090009, Орал қ., Громов көш., 16, тел.: 87758821591, e-mail: zhubantayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9218-5414>.

Zholdasbekov Adilbek Kaldarbekovich – Master of Veterinary Sciences, Researcher of the Agrarian Innovation-Technology Park, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 43A Zhangir Khan Str., tel.: 87021547392, e-mail: adilzhol@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0060-9513>.

Abugaliyev Serimbek Kurmanbayuly – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Agrarian Innovation-Technology Park, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 43/2 Zhangir Khan Str., tel.: 87017331453, e-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>.

Smagulov Darkhan Bakytbekovich – PhD, Associate Professor, Director of the Agrarian Innovation-Technology Park, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 43/2 Zhangir Khan Str., tel.: 87074748008, e-mail: dark.smagul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8992-2244>.

Zhubantayev Izimgali Nurymovich* – Candidate of Agricultural Sciences, Vice-Rector for Research and International Relations, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 16 Gromov Str., tel.: 87758821591, e-mail: zhubantayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9218-5414>.

МРНТИ 68.41.49

УДК 636.22/.28:575.17

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621047>

О РЕЗУЛЬТАТАХ ГЕНОТИПИРОВАНИЯ КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ ПО ЛОКУСУ ГЕНА TLR4/ALU1 И ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЛЕЛЕЙ ГЕНА TLR4 НА ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНУЮ ФУНКЦИЮ

Нурпеисова Р.К.* – магистр ветеринарных наук, докторант, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», г. Алматы, Республика Казахстан.

Турғумбеков А.А. – PhD доктор, старший преподаватель кафедры клинических дисциплин, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», г. Алматы, Республика Казахстан.

Иманбаев А.А. – кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры клинических дисциплин, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», г. Алматы, Республика Казахстан.

Усенбеков Е.С. – кандидат биологических наук, профессор кафедры клинических дисциплин, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», г. Алматы, Республика Казахстан.

Актуальность исследования определяется необходимостью повышения эффективности воспроизводства молочного скота с использованием молекулярно-генетических маркеров, позволяющих прогнозировать фертильность животных. Цель работы – проведение генотипирования коров голштинской породы по локусу гена TLR4/AluI и установление взаимосвязи между его аллелями и показателями репродуктивной функции. В задачи входило выделение геномной ДНК, амплификация участка гена TLR4 длиной 382 п.н., рестрикционный анализ с ферментом AluI. Исследование включало 190 клинически здоровых коров голштинской породы, содержащихся в одинаковых условиях кормления и микроклимата в ТОО «Байсерке-Агро». Генотипирование по локусу гена TLR4/AluI выполнено методом PCR-RFLP; распределение генотипов проверено на соответствие равновесию Харди–Вайнберга. Ассоциативный анализ проводили с учётом срока плодотворного осеменения коров после отёла (45–60; 61–90; 91–120; ≥ 121 дней) и индекса невозврата на 58-й день (NRI-58). Выявлены три генотипа: TT – 39,5 %, TC – 43,7 %, CC – 16,8 %; частоты аллелей: T = 0,61, C = 0,39; распределение соответствует HWE ($\chi^2 = 1,97$; $p > 0,05$). В группе 45-60 дней доли TT/TC/CC составили 42/48/10 %, при удлинении сервис-периода (61–90; 91–120 дней), отмечен рост доли CC до 16 – 22 %. По NRI – 58 зарегистрировано: TT – 19 голов, TC – 24 голов, CC – 0 (в сумме 43 из 190). Полученные результаты указывают на благоприятную роль T-аллеля и неблагоприятную – C-аллеля в формировании фертильности. Локус TLR4/AluI информативен для оценки репродуктивной функции у голштинов, T-аллель ассоциирован с более ранним плодотворным осеменением и лучшими показателями фертильности, что подтверждает эффективность его использования как селекционного ДНК маркера.

Ключевые слова: SNP полиморфизм гена TLR4, генотипирование коров, репродуктивная функция, ДНК маркеры, индекс невозврата.

ГОЛШТЕИН ТҰҚЫМДАС СИЫРЛАРЫНДА TLR4/ALU1 ГЕН ЛОКУСЫ БОЙЫНША ГЕНОТИПТЕУ ЖҰМЫСТАРЫНЫҢ НӘТИЖЕСІ ЖӘНЕ TLR4 ГЕН АЛЛЕЛДЕРІНІҢ ӨСІП ӨНУ ҚЫЗМЕТІНЕ ӨСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Нурпеисова Р.К.* – ветеринария ғылымдарының магистрі, докторант, КЕАҚ «Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Турғумбеков А.А. – PhD доктор, «Клиникалық пәндер» кафедрасының аға оқытушысы, «Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Иманбаев А.А. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «Клиникалық пәндер» кафедрасының профессоры, «Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Усенбеков Е.С. – биология ғылымдарының кандидаты, «Клиникалық пәндер» кафедрасының профессоры, «Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Зерттеудің өзектілігі – жануарлардың ұрықтандырғыш қасиетін болжауға мүмкіндік беретін молекулярлық-генетикалық маркерлерді пайдалану арқылы сүт бағытындағы сиырлардың көбеюін арттыру қажеттілігімен анықталады. Зерттеудің мақсаты – TLR4/AluI генінің локусы бойынша голштейн сиырларын генотиптеу және оның аллельдері мен көбею көрсеткіштері арасындағы өзара байланысты анықтау. Геномдық ДНК бөліп алу, ұзындығы 382 жп негіз фрагментін амплификациялау және AluI ферментімен рестрикциялық талдау жүргізу. Зерттеу жұмысы Алматы облысындағы

«Байсерке-Агро» ЖШС шаруашылығындағы 190 бас – клиникалық сау голштин тұқымдас сиырлары зерттелді, олардың азықтануы мен микроклимат жағдайы бірдей жағдайда болуын қадағаланды. TLR4/AluI бойынша генотиптеу PCR-RFLP әдісімен жүргізілді; генотиптердің таралуы Харди–Вайнберг тепе-теңдігіне (Gene-Calс) сәйкестігі бойынша тексерілді. Ассоциативтік талдау сиырлардың бұзаулағаннан кейінгі кезеңнен кейінгі ұрықтандыру уақыты (45–60; 61–90; 91–120; ≥ 121 күн) және 58-күнгі қайтып келмеу индексіне (NRI-58) негізделді. Нәтижесінде – үш генотип анықталды: TT – 39,5 %, TC – 43,7 %, CC – 16,8 %; аллель жиіліктері: T = 0,61, C = 0,39; үлестірім Харди – Вайнберг тепе-теңдігіне сай ($\chi^2 = 1,97$; $p > 0,05$). 45–60 күндік топта TT/TC/CC үлестері 42/48/10 % болды; сервис-период ұзарған сайын (61–90; 91–120 күн) CC үлесі 16 – 22 % дейін артты. NRI-58 бойынша: TT – 19 бас, TC – 24 бас, CC – 0 (барлығы 43 бас). Мәліметтер T аллелінің ұрықтандырғыштық қасиетіне қолайлы, ал C аллелінің кері әсер ететінін көрсетеді. TLR4/AluI локусы голштин сиырларының көбею функциясын бағалауда ақпаратты мәлімет болып табылады; T аллелі ерте ұрықтанумен және жоғары фертильділікпен байланысты, TLR4/ALUI селекциядық ДНҚ маркер ретінде қолдануға болады.

Түйінді сөздер: TLR4 генінің SNP полиморфизмі, сиырларды генотиптеу, репродуктивтік қызмет, ДНҚ маркерлері, қайтып келмеу индексі.

RESULTS OF GENOTYPING OF HOLSTEIN COWS BY THE TLR4/ALUI GENE LOCUS AND STUDYING THE INFLUENCE OF TLR4 GENE ALLELES ON REPRODUCTIVE FUNCTION

Nurpeissova R.K.* – Master of Veterinary Sciences, PhD student, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Turgumbekov A.A. – PhD, Senior Lecturer of the Department of clinical disciplines, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Imanbayev A.A. – Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of clinical disciplines, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Ussenbekov Ye.S. – Candidate of Biological Sciences, Professor of the Department of clinical disciplines, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Almaty, Republic of Kazakhstan.

The relevance of this study is determined by the need to improve the efficiency of dairy cattle reproduction using molecular genetic markers that can predict animal fertility. The aim of the study was to genotype Holstein cows for the TLR4/AluI gene locus and establish the relationship between its alleles and reproductive function indicators. The objectives included isolating genomic DNA, amplifying a 382-bp TLR4 gene region, and performing restriction analysis with the AluI enzyme. The study included 190 clinically healthy Holstein cows maintained under identical feeding and microclimate conditions at Baiserke-Agro LLP. TLR4/AluI genotyping was performed using PCR-RFLP; the genotype distribution was tested for compliance with Hardy-Weinberg equilibrium. Association analysis was performed taking into account the period of fruitful insemination of cows after calving (45–60; 61–90; 91–120; ≥ 121 days) and the non-return rate on day 58 (NRI-58). Three genotypes were identified: TT – 39.5%, TC – 43.7%, CC – 16.8%; allele frequencies: T = 0.61, C = 0.39; the distribution corresponds to HWE ($\chi^2 = 1.97$; $p > 0.05$). In the 45–60-day group, the TT/TC/CC shares were 42/48/10%, with an increase in the open period (61–90; 91–120 days) an increase in the CC share to 16–22% was noted. According to NRI, 58 animals were registered: TT – 19 heads, TC – 24 heads, CC – 0 (a total of 43 out of 190). The data indicate a favorable role for the T allele and an unfavorable role for the C allele in determining fertility. The TLR4/AluI locus is informative for assessing reproductive function in Holsteins; the T allele is associated with earlier fruitful insemination and better fertility indicators, supporting its use as a selection DNA marker.

Keywords: SNP polymorphism of TLR4 gene, genotyping of cows, reproductive function, DNA markers, non-return rate.

Введение. Послеродовые бактериальные воспаления у молочных коров нарушают функции репродуктивных органов и снижают фертильность. Однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) гена TLR4 связаны с репродуктивными показателями (число осеменений и длительность открытого периода) и активностью иммунных клеток. Таким образом, полиморфизмы гена TLR4 влияют как на иммунную реакцию, так и на репродуктивную способность коров, что делает их перспективным генетическим маркером для отбора животных с высоким репродуктивным потенциалом [1, с. 212]. Полиморфизмы в локусах генов LTF/EcoRI и TLR4/AluI достоверно влияют на молочную и репродуктивную продуктивность коров голштинской породы. Исследованием установлена значимая связь ($p \leq 0.05$) между генотипами LTF и показателями молочной продуктивности: суточным удоем, удоем за 305 дней и продолжительностью сухостойного периода, за исключением длительности лактации. Генотипы TLR4 оказали статистически значимое влияние ($p \leq 0.05$) на ключевые репродуктивные показатели: возраст первого отела, интервал между отелами, количество осеменений на одно зачатие, восстановление функции яичников, что подтверждает их важную роль в формировании репродуктивного потенциала животных. Установлено, что сочетание генотипов LTF и TLR4 может использоваться для прогнозирования репродуктивных показателей и отбора животных с высокой продуктивностью [2, с. 678]. При заражении бактериальной флорой, врожденная иммунная система первой распознаёт их паттерны, ассоциированные с

патогенами (PAMPs), с помощью рецепторов распознавания образцов (PRRs). Среди них особое место занимают Toll-подобные рецепторы (TLRs) – трансмембранные. После связывания с лигандом TLR-рецепторы инициируют каскад сигнальных событий, способствующих экспрессии воспалительных цитокинов, интерферонов I типа и хемокинов, тем самым играя ключевую роль в модуляции врождённого и адаптивного иммунитета. Особый интерес представляет специфичность TLR-рецепторов в распознавании консервативных микробных компонентов: липопротеинов, липополисахаридов, жгутиковых белков, эндосомальных нуклеиновых кислот и других биологически активных метаболитов микробного происхождения. Эти взаимодействия позволяют лучше понять иммуномодулирующее действие TLR-рецепторов, изменения сигнальных путей в ходе инфекционного процесса, а также формируют новые подходы к разработке терапевтических стратегий против микробных инфекций [3, с. 5341].

Доказано, что взаимодействие сперматозоидов с эндометриальными эпителиальными клетками матки, активирует врождённый иммунный ответ через сигнальный путь TLR2/4, сопровождающийся повышением экспрессии воспалительных цитокинов TNFA, IL-1B, IL-8, PGES и активацией каскадов p38MAPK и JNK. TLR2/4 устраняет этот эффект, что подтверждает их ключевую роль в регуляции воспаления в репродуктивных органах [4, e0214516]. Исследование полиморфизма гена TLR4 у голштинских коров, адаптированных к условиям Индонезии, выявило три генотипа (CC, CT, TT) при рестрикционном анализе AluI. Популяция находилась в равновесии Харди–Вайнберга, преобладал гетерозиготный генотип CT. Установлено достоверное влияние полиморфизма TLR4|AluI на репродуктивную способность коров. Таким образом, данный локус может рассматриваться как потенциальный генетический маркер репродуктивной продуктивности у коров голштинской породы [5, с. 175]. У симментальских коров выявлены полиморфизмы генов TLR4 и TLR5, ассоциированные с репродуктивными параметрами. Наиболее значимые варианты TLR4 (g.610C>T, g.10310T>G, g.9422T>C) коррелировали с лёгкостью отёла, кистозом яичников и продуктивным долголетием. Отдельные SNP TLR5 связаны с частотой кист и показателями молочной продуктивности, что подчеркивает роль этих генов в регуляции воспроизводства и здоровья вымени у коров [6, с. 1]. Toll-подобные рецепторы (TLRs) играют ключевую роль в иммунном ответе против бактерий, вирусов, паразитов и грибов, участвуя как во врождённом, так и в адаптивном иммунитете. У крупного рогатого скота идентифицировано десять функциональных рецепторов (TLR1–TLR10), каждый из которых распознаёт специфические паттерны патогенов. Полиморфизмы TLR-генов рассматриваются как перспективные маркеры для селекции животных с повышенной устойчивостью и раннего скрининга риска заболеваний, что открывает новые возможности для молочного скотоводства [7, с. 425]. Воздействие липополисахарида (LPS) – основного лиганда TLR4 – на эндометриальные эпителиальные клетки коров (bEEC) вызывает активацию воспалительных сигнальных путей и нарушает экспрессию генов, участвующих во взаимодействии эмбриона и матки. По данным RNA-seq, под действием LPS изменялась транскрипция более 2000 генов, включая усиление экспрессии цитокинов и интерферон-зависимых генов, а также снижение экспрессии кадгеринов, ответственных за клеточную адгезию. Эти изменения отражают TLR4-опосредованную иммунную активацию и могут быть связаны с нарушением функций эндометрия и снижением фертильности у крупного рогатого скота [8, с. e0222081].

Развитие эндометрита у коров связано с массивной бактериальной инвазией в послеродовом периоде, преимущественно грамотрицательными микроорганизмами. Их липополисахариды активируют клеточные рецепторы, прежде всего Toll-подобные рецепторы (TLRs) и NOD-рецепторы (NLRs), запускающие сигнальные пути MAPK и NF-κB, что приводит к экспрессии провоспалительных цитокинов. Эти каскады формируют основу молекулярного патогенеза эндометрита [9, с. 1516]. Ученые исследовали у коров породы Czech Fleckvieh ассоциации генов LEP, TLR4 и CXCR1 с репродуктивными показателями. Методом PCR-RFLP выявлено, что гетерозиготы по TLR4 с.-226C>G характеризуются укороченным интервалом между отёлами и тенденцией к повышению оплодотворяемости. Полиморфизмы LEP значительно влияли на возраст первого отёла и продолжительность сервис-периода, тогда как CXCR1 с.777C>G не показал связи с фертильностью [10, с. 1]. Сравнительный анализ генов TLR2, TLR4 и TLR6 у коров анатолийских и голштинских пород методом секвенирования нового поколения показал более высокое генетическое разнообразие у местных пород по сравнению с голштинской. Наибольшее количество вариаций обнаружено в TLR4 и TLR6, что предполагает их участие в формировании естественной устойчивости анатолийских пород к бактериальным инфекциям. Эти результаты подтверждают значимость TLR-генов как потенциальных маркеров устойчивости к заболеваниям у крупного рогатого скота [11, с. 23]. Изучение генетических факторов, влияющих на воспроизводительную способность крупного рогатого скота, имеет важное значение для повышения эффективности молочного животноводства. Одним из перспективных генов-кандидатов является ген эстрогенного рецептора (ERα), участвующий в регуляции овуляции, имплантации и поддержании беременности. Проведено генотипирование коров голштинской породы ТОО «Байсерке-Агро» по локусу ERα/BGLI SNP. Установлено преобладание гомозиготного генотипа GG (71,6%), тогда как генотипы AG и AA встречались с частотой 22,5% и 5,9% соответственно. Отмечено, что животные с гетерозиготным генотипом AG характеризовались лучшими показателями репродуктивной функции, включая более высокий индекс невозврата на 58-й день после осеменения. Таким образом, ERα/BGLI SNP полиморфизм может рассматриваться в качестве маркера отбора коров с повышенной фертильностью. [12, с.47]. Ген GDF9 (Growth Differentiation Factor 9) играет ключевую роль в регуляции роста и созревания фолликулов, а его полиморфизмы

могут влиять на воспроизводительную функцию коров. Проведённое генотипирование 120 коров голштинской породы методом ПЦР показало наличие трёх генетических вариантов: АА, АТ и ТТ. Анализ воспроизводительных показателей показал, что коровы с АА генотипом осеменялись плодотворно в более ранние сроки после отёла (45–90 дней), что указывает на возможное ассоциативное влияние гена GDF9 на фертильность [13, с.121]. Субклинический эндометрит является одной из наиболее распространенных и скрытых форм воспалительных заболеваний эндометрия у коров голштино-фризской породы, приводящих к снижению фертильности и экономическим потерям в молочном скотоводстве. Установлено, что 60-70% коров с субклиническим эндометритом остаются бесплодными, а частота его проявления возрастает в зимне-весенний период. Основной предпосылкой развития патологии является снижение иммунного статуса организма в послеродовой период, способствующее появлению воспалительных процессов [14, с. 49].

Генетические исследования последних лет показывают, что устойчивость к маститу может быть обусловлена полиморфизмом генов, регулирующих врождённый иммунный ответ и репаративные процессы молочной железы. В связи с этим проведено генотипирование коров голштинской породы племенного хозяйства ТОО «Амиран» по локусам генов TLR6 и BRCA1, ассоциированных с резистентностью к маститам. Установлено, что по локусу TLR6 наблюдается низкий уровень полиморфизма и преобладание гомозиготного генотипа ТТ, тогда как по локусу BRCA1 выявлено высокое генетическое разнообразие. Коровы с гомозиготными генотипами АА и ВВ по локусу BRCA1 проявляли повышенную устойчивость к клиническим и субклиническим формам мастита, что позволяет рассматривать SNP G22231T полиморфизм BRCA1 в качестве перспективного ДНК-маркера резистентности к маститам у голштинских коров [15, с. 69]. Одной из наиболее частых причин снижения фертильности является эндометрит, вызывающий удлинение сервис-периода, увеличение количества осеменений и рецидивов бесплодия. Это подтверждает необходимость ранней диагностики и профилактики воспалительных заболеваний матки у высокопродуктивных коров, а также обосновывает актуальность использования молекулярно-генетических подходов для оценки репродуктивного статуса животных [16, с. 284].

Эндометрит является одним из наиболее распространённых репродуктивных заболеваний у коров в хозяйствах Казахстана и существенно влияет на показатели воспроизводства. Основными возбудителями выступают *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*, обладающие высокой патогенностью и антибиотикорезистентностью, что затрудняет терапию и способствует затягиванию воспалительного процесса. Использование ПЦР-диагностики для идентификации генетических детерминант патогенных микроорганизмов повышает точность диагностики и позволяет рационально подбирать терапию. Полученные данные подтверждают необходимость комплексного подхода к лечению и профилактике воспалительных заболеваний репродуктивных органов, а также изучения генетических факторов, влияющих на устойчивость и фертильность животных [17, с. 76]. Гипофункция яичников у коров является одной из распространенных причин снижения воспроизводительной способности и характеризуется морфофункциональными изменениями репродуктивных органов. Выявленные изменения указывают на нарушение координации работы репродуктивных органов и снижение их физиологической активности при гипофункции яичников [18, с. 61].

Цель работы – проведение генотипирования коров голштинской породы ТОО «Байсерке-Агро» по локусу гена TLR4 методом ПЦР-ПДРФ анализа, определение распространенности генетических вариантов у исследуемых животных и изучение ассоциативного влияния его аллелей на репродуктивную функцию.

Задачи исследования: создание экспериментальной группы животных с разными параметрами воспроизводительной функции, сбор биологического материала, экстракция ДНК из образцов, определение качества ДНК, моделирование эксперимента по генотипированию коров, анализ результатов ДНК паспортизации, изучение влияния аллелей гена TLR4 на репродуктивную функцию коров.

Материалы и методы. Работа по генотипированию коров по локусу гена TLR4 проводилась в 2024 году, в опытную группу были включены 190 клинически здоровые коровы голштинской породы, принадлежащих ТОО «Байсерке-Агро» Талгарского района Алматинской области. Коровы находились на 2–4 месяцах лактации со средней молочной продуктивностью 7600–8000 кг. Все животные содержались в идентичных условиях кормления и микроклимата, что позволило минимизировать влияние внешних факторов на результаты исследования. Для изучения ассоциативного влияния аллелей гена TLR4 в исследование были включены коровы голштинской породы, плодотворно осеменённые в различные сроки после отёла. Животные были разделены на четыре экспериментальные группы: через 45–60 дней ($n = 50$), 61–90 дней ($n = 50$), 91–120 дней ($n = 50$) и более 121 дня ($n = 40$) после отёла, в рамках наблюдений, проведенных в течение 2024 календарного года. Генотипирование проведено по локусу гена TLR4/AluI, с последующей идентификацией животных, различающихся по параметрам репродуктивной функции. Для определения теоретического распределения генотипов и расчёта цифрового значения критерия χ^2 в исследуемой популяции использовалась программа Hardy–Weinberg equilibrium [19]. Отбор биоматериала и выделение ДНК: для генотипирования использовали замороженные образцы крови объёмом 2 мл, отобранные из яремной вены в вакуумные пробирки с ЭДТА. Выделение геномной ДНК проводилось в лаборатории кафедры «Клинические дисциплины» и в лаборатории «Зелёной биотехнологии и клеточной инженерии» Казахстанско-Японского инновационного центра Казахского национального аграрного исследовательского университета классическим фенол-

хлороформным методом и с использованием коммерческого набора PureLink™ Genomic DNA Mini Kit (Thermo Fisher Scientific) согласно инструкции производителя. Алгоритм проведения ДНК-идентификации включал следующие этапы: сбор и идентификация биологического материала; экстракция ДНК и определение её качества; измерение концентрации ДНК; анализ последовательностей гена TLR4 в 3-м экзоне (согласно базе данных NCBI, GenBank: DQ839567/1); амплификация участка гена длиной 382 п.н.; рестрикционный анализ с эндонуклеазой AluI с сайтом узнавания AG/CT; проведение горизонтального электрофореза и определение генотипов животных. Амплификацию фрагмента гена TLR4 проводили методом ПЦР с использованием специфических праймеров: (F): 5'–AGACAGCATTTCACTCCCTC–3', (R): 5'–ACCACCGACACACTGATGAT–3' [5, с. 175]. Ожидаемая длина амплификата – 382 п.н. Реакционная смесь объемом 25 мкл содержала: 2,5 мкл 10 х ПЦР буфера, 1,5 мкл 25 мМ MgCl₂, 2 мкл смеси четырех dNTP, 1 мкл каждого праймера (10 пмоль/мкл), 0,2 мкл Taq-полимеразы, 3 мкл матричной ДНК и 13,8 мкл воды бидистиллированной. Условия амплификации (35 циклов): первоначальная денатурация – 94 °С 5 мин; денатурация – 94 °С 30 сек; отжиг праймеров – 60 °С 30 сек; элонгация – 72 °С 50 сек, финальная элонгация – 72 °С, 6 мин. Результаты амплификации проверяли с помощью горизонтального электрофореза в 3-4% агарозном геле, окрашенном бромистым этидием. В качестве молекулярного маркера использовали pUC19|MspI. Наличие чёткой полосы на уровне 382 п.н. свидетельствовало об успешной амплификации целевого фрагмента.

Результаты. Амплификация участка гена TLR4 длиной 382 п.н. с использованием специфических праймеров прошла успешно у всех исследованных животных. При электрофоретическом анализе продуктов ПЦР в 3,0 % агарозном геле наблюдалась чёткая одиночная полоса, соответствующая ожидаемому размеру амплификата. Это подтверждало высокое качество выделенной ДНК и корректность подбора праймеров (рис. 1). Для горизонтального электрофореза использовали 5 мкл амплификата, что дало четкое изображение.

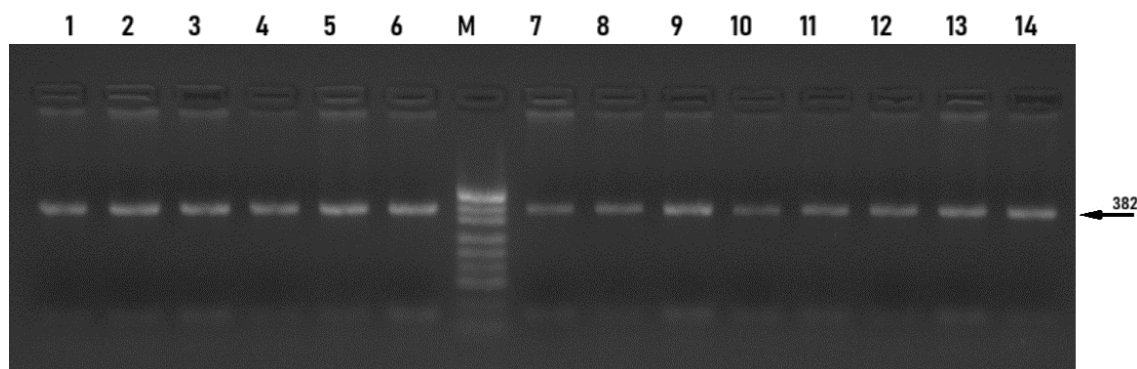


Рисунок 1 – Электрофореграмма амплификата гена TLR4, 3% агароза, лунки 1-6, 7-14 ПЦР продукт размером 382 п.н., М – ДНК маркер pUC19/MspI

Рестрикционный анализ и идентификация генотипов. Полученные амплификаты подвергали рестрикции эндонуклеазой AluI с сайтом узнавания AG↓CT. В результате электрофоретического анализа продуктов рестрикции фрагмента гена TLR4, амплифицированного методом ПЦР и обработанного эндонуклеазой AluI, были выявлены три генотипа: ТТ, ТС, СС. На электрофореграмме у особей с гомозиготным ТТ генотипом были обнаружены фрагменты: 142 п.н., 118 п.н., 77 п.н. (лунки 1-3, 5, 7, 8, 11, 13), у коров с гетерозиготным ТС генотипом фрагменты: 260 п.н., 142 п.н., 118 п.н. и 77 п.н. (лунки 4, 6, 9), у особей с гомозиготным СС генотипом – 260 п.н. и 77 п.н., (лунки 10, 12, 14). (рис 2).

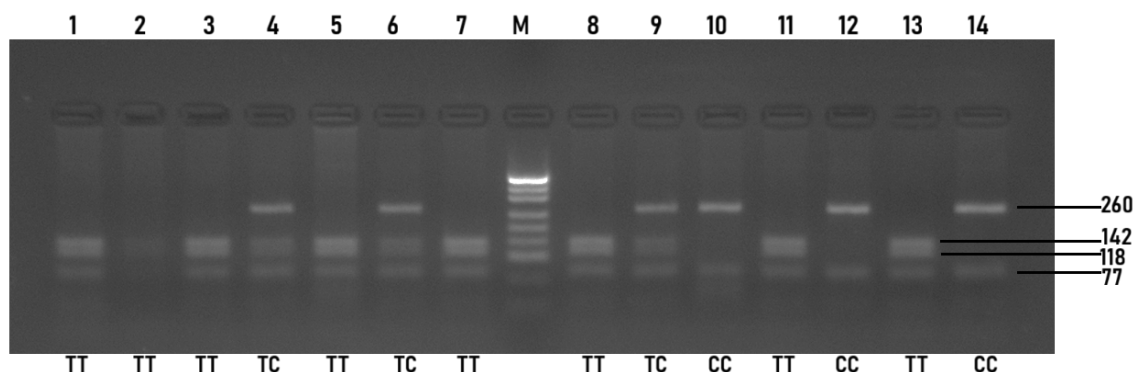


Рисунок 2 – Результаты рестрикционного PCR–RFLP анализа фрагмента гена TLR4 с ферментом AluI, М – ДНК маркер pUC19/MspI

В результате генотипирования 190 коров голштинской породы (табл 1) по локусу TLR4/AluI выявлены три генотипа: ТТ – 75 голов (39,5 %), ТС – 83 (43,7 %), СС – 32 (16,8 %). В исследуемой популяции преобладали особи с гетерозиготным генотипом (ТС), частоты аллелей составили: Т – 0,61, С – 0,39. Для анализа связи генотипа с репродуктивными показателями животные были разделены на четыре экспериментальные группы в зависимости от срока плодотворного осеменения после отела: через 45-60 дней (n = 50), 61-90 дней (n = 50), 91-120 дней (n = 50) и более 121 дня (n = 40). В группе коров, плодотворно осемененных через 45-60 дней, доля генотипов составила: ТТ – 42 %, ТС – 48 %, СС – 10 %. В период 61-90 дней отмечено увеличение доли СС до 16 %, а в 91-120 дней – до 22 %. Подобная тенденция отражает влияние аллеля С на удлинение сервис-периода.

Таблица 1 – Распределение генотипов коров по локусу гена TLR4/AluI с различными сроками плодотворного осеменения

Коровы голштинской породы с разными показателями репродуктивной функции	Частота аллелей		Распределение генотипа по локусу TLR4/AluI						
	Т	С	ТТ		ТС		СС		X ²
			п	%	п	%	п	%	
Осеменение 45-60 дней (n= 50)	0,66	0,34	21	42	24	48	5	10	
Осеменение 61–90 дней (n= 50)	0,62	0,38	20	40	22	44	8	16	
Осеменение 91–120 дней (n= 50)	0,57	0,43	18	36	21	42	11	22	
Более 121 дней (n= 40)	0,60	0,40	16	40	16	40	8	20	
Фактическое распределение генотипа	0,67	0,33	75	39,5	83	43,7	32	16,8	
Теоретическое распределение генотипа (HW)			71,43		90,13		28,43		1.19
Отклонение от теоретического распределения			+3,57		-7,13		+3,57		
Доля коров с индексом не возврата на 58 день после осеменения (n=190)			19 (10,0%)		24 (12,6%)		0		

Наблюдаемая высокая доля гетерозигот (ТС) указывает на умеренный уровень генетического полиморфизма по локусу TLR4/AluI в исследуемой популяции. Анализ показал, что у животных с генотипом ТТ и ТС наблюдался более короткий сервис-период и более высокий индекс невозврата после искусственного осеменения (10,0%), у гетерозиготных коров ТС (12,6%) [20, с. 187], что свидетельствует о лучшей фертильности, а коровы с генотипом СС характеризовались удлинённым сервис-периодом и отсутствием невозвратов (0%), что указывает на возможную ассоциацию С-аллеля с пониженной репродуктивной способностью. Таким образом, проведённый рестрикционный анализ локуса TLR4/AluI у коров голштинской породы позволил выявить три генотипа (ТТ, ТС, СС) с преобладанием гетерозигот ТС. Полученные данные свидетельствуют о ассоциации аллеля Т с повышенной фертильностью и сокращением интервала между отёлом и плодотворным осеменением, что делает данный локус перспективным генетическим маркером для селекции по репродуктивным признакам.

Обсуждение. Проведена ДНК паспортизация племенных высокопродуктивных коров голштинской породы по локусу TLR4/AluI и у исследуемых животных были выявлены все три генетические варианты генотипа: гомозиготный ТТ генотип, гетерозиготный ТС генотип и гомозиготный и СС генотип, при этом преобладали гетерозиготные особи (ТС – 43,7%). Подобное распределение генотипов и частот аллелей (Т = 0,61; С = 0,39) соответствует равновесию Харди-Вайнберга ($\chi^2 = 1,19$; $p > 0,05$), что указывает на стабильное состояние популяции и отсутствие направленного отбора по данному локусу. Результаты исследования показали, что с увеличением срока плодотворного осеменения после отела наблюдалось постепенное снижение доли аллеля Т и увеличение аллеля С. В частности, в группе коров, осемененных в ранние сроки (45 – 60 дней), преобладал генотип ТТ (42%), тогда как при удлинении сервис-периода (91-120 дней и более 121 дня) увеличивалась частота СС-генотипа до 20-22%. Эти данные свидетельствуют о возможной ассоциации аллеля С с удлинённым интервалом между отёлом и осеменением и сниженной фертильностью животных. Показатель индекса не возврата

на 58 день (NRI – 58), использованный как критерий фертильности, также имел зависимость от генотипа животных. У животных с генотипами ТТ и ТС индекс не возврата составил соответственно 10,0% и 12,6%, тогда как у коров с генотипом СС не наблюдалось случаев не возврата (0%). Это подтверждает связь Т-аллеля с повышенной вероятностью успешного оплодотворения и укорочением сервис-периода. Следует отметить, что анализ полиморфизма TLR4/AluI у казахстанской популяции коров голштинской породы показывает локус гена TLR4/AluI может служить информативным генетическим маркером при оценке воспроизводительной функции у коров. Аллель Т ассоциируется с благоприятными репродуктивными признаками и может быть рекомендован для дальнейшего отбора животных с высокой фертильностью и устойчивостью к воспалительным заболеваниям репродуктивной системы.

Закключение. Прогнозирование репродуктивной способности коров является актуальной проблемой селекционной работы на молочных фермах, отбор животных с желательным генотипом позволяет повысить репродуктивную и молочную продуктивность стада. Изученный локус гена TLR4/AluI у коров голштинской породы ТОО «Байсерке-Агро» оказался полиморфным, у исследуемой популяции выявлен высокий уровень генетического разнообразия, что является желательным процессом. В группе животных, где более высокие показатели воспроизводительной функции (Осеменение 45-60 дней (n= 50), Осеменение 61–90 дней (n= 50)) преобладали коровы с генотипом ТТ (42%), ТС (48%), (I группа) и с генотипом ТТ (40%), ТС (44%), (II группа). У коров с низкими показателями репродуктивной функции, наоборот, наблюдается увеличение доли коров с генотипом СС и данный факт подтверждает наличие корреляционной связи между генотипами животных с параметрами воспроизводительной функции у коров. Считаем, что использование данного локуса в селекционно-племенной работе может повысить эффективность отбора животных с оптимальными репродуктивными показателями и улучшить экономическую эффективность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Shimizu T. Effect of Single Nucleotide Polymorphisms of Toll-Like Receptor 4 (TLR4) on Reproductive Performance and Immune Function in Dairy Cows [Text] / T. Shimizu, Y. Kawasaki, Y. Aoki, F. Magata, Ch. Kawashima, A. Miyamoto // Biochem Genet. – 2017. – Vol. 55(3). – P. 212–222.
2. El-Domany W.B. Genetic Polymorphisms in LTF/EcoRI and TLR4/AluI loci as candidates for milk and reproductive performance assessment in Holstein cattle [Text] / W. B. El-Domany, H. A Radwan, A. I. Ateya, H. H. Ramadan, B. H Marghani, Sh. M. Nasr // Reprod Domest Anim. – 2019. Vol.54(4). – P. 678–686.
3. Xia P. Research progress on Toll-like receptor signal transduction and its roles in antimicrobial immune responses [Text] / P. Xia, Y. Wu, S. Lian, L. Yan, X. Meng, Q. Duan, G. Zhu // Appl Microbiol Biotechnol. – 2021, Vol.105(13): 5341–5355.
4. Ezz M.A. TLR2/4 signaling pathway mediates sperm-induced inflammation in bovine endometrial epithelial cells in vitro [Text] / M. A. Ezz, M. A. Marey, A. E. Elweza, T. Kawai, M. Heppelmann, Ch. Pfarrer, A. Z. Balboula, A. Montaser, K. Imakawa, S. M. Zaabel, M. Shimada, A. Miyamoto // PLoS One. – 2019, Vol.14(4): e0214516.
5. Sutopo. Toll-Like Receptor 4 Gene Diversity, Its Potential as a Molecular Marker in Indonesian Dairy Cattle [Text] / Sutopo, Y.W. Setyorini, E. Kurnianto, Sutyono, D. A. Lestari, A. Setiaji // Journal of Hunan University (Natural Sciences). – 2023, Vol. 50(10): 175–183.
6. Novák K. Association of Variants in Innate Immune Genes TLR4 and TLR5 with Reproductive and Milk Production Traits in Czech Simmental Cattle [Text] / K. Novák., T. Valčíková, K. Samaké, M. Bjelka // Genes. – 2024, Vol. 15(1): 1–24.
7. Maurić-Maljković M. Prospects of Toll-Like Receptors in Dairy Cattle Breeding [Text] / M. Maurić-Maljković, I. Vlahek, A. Piplica, A. Ekert Kabalin, V. Sušić, V. Stevanović // Anim Genet. – 2023, 54(4): 425–434.
8. Guo Y. Differential gene expression in bovine endometrial epithelial cells after challenge with LPS; specific implications for genes involved in embryo maternal interactions [Text] / Y. Guo, T. van Schaik, N. Jhamat, A. Niazi, M. Chanrot, G. Charpigny, J.F. Valarcher, E. Bongcam-Rudloff, G. Andersson, P. Humblot // PLoS One. – 2019, Vol. 14 (9): e0222081.
9. Oladejo A.O. Modulation of bovine endometrial cell receptors and signaling pathways as a nanotherapeutic exploration against dairy cow postpartum endometritis [Text] A.O. Oladejo, Y. Li, X. Wu, B.H. Imam, J. Yang, X. Ma, Z. Yan, S. Wang // Animals (Basel). – 2021, Vol.11(6): 1516.
10. Jecminkova K. Association of Leptin, TLR4, and CXCR1 SNPs with fertility traits in Czech Fleckvieh cattle [Text] K. Jecminkova, U. Müller, J. Kyselova, Z. Sztankóová, L. Zavadilova, M. Stipkova, I. Majzlík // Asian-Australasian J Anim Sci. – 2018, Vol.3(11): 1–8.
11. Bilgen N. Determination of Genetic Variations of Toll-Like Receptor (TLR) 2, 4, and 6 with Next-Generation Sequencing in Native Cattle Breeds of Anatolia and Holstein Friesian [Text] N. Bilgen, B. C. Kul, V. Offord, D. Werling, O. Ertugrul // Diversity. – 2016, Vol.8(4): 23.

12. Тургумбеков А.А. Исследование ER α /BGLI SNP полиморфизма у крупного рогатого скота, ассоциированного с репродуктивной функцией [Текст] / Тургумбеков А.А., Усенбеков Е.С. // 3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация – 2023. – № 2. – С. 47–51.
13. Тургумбеков А.А. Исследование GDF9 A625T/DraI SNP полиморфизма и ассоциативное влияние его аллелей на репродуктивную функцию коров [Текст] / Тургумбеков А.А., Усенбеков Е.С. // Ғылым және Білім – 2023. – № 2(2). – С. 121–129.
14. Узынтлеуова А.Д. Сиырлардың жасырын эндометритін ультрадыбыстық зерттеу диагностикасы [Текст] / Узынтлеуова А.Д., Джуланов М.Н., Койбагаров К.У., Абжалиева А.Б. // Ғылым және Білім – 2024. – №1(2). – С. 49–57.
15. Муслимова Ж.У. Результаты генотипирования коров голштинской породы по локусам генов TLR6 и BRCA1, ассоциированных с резистентностью к маститам [Текст] / Муслимова Ж.У., Нусупова С.Т., Усенбеков Е.С. // Ғылым және білім – 2024. – № 1(21). – С. 69–83.
16. Бименова Ж.Ж. Шаруашылық жағдайында эндометриттерді балау, алдын алу және заманауи емдеу әдістерін оңтайландыру [Текст] / Бименова Ж.Ж., Тургумбеков А.А., Несипбаева А.К. // Ветеринарные науки. – 2025. – № 3(2). – С. 284–292.
17. Сахариев Е.С. Сиыр эндометриті ауруына себепші микроорганизмдердің вируленттілігі мен антибиотикке резистенттілігін анықтау [Текст] / Сахариев Е.С., Усенбеков Е.С., Муратбаев Д.М. // Ветеринарные науки. – 2025. – № 2(2). – С. 76–88.
18. Хасанова М.А. Морфофункциональная характеристика яйцепроводов коров при гипофункции яичников [Текст] / Хасанова М.А., Аубакиров М.Ж. // Ветеринарные науки. – 2023. – № 2(1). – С. 61–67.
19. Bińkowski J., Miks S., (2018, September). Gene-Calc [Computer software]. Available from: www.gene-calc.pl. <https://gene-calc.pl/hardy-weinberg-page>.
20. Усенбеков Е.С. Эффективность схем синхронизации эстрального цикла у коров молочных пород и оптимальное время искусственного осеменения [Текст] / Ussenbekov, Y., Тургумбеков А. А, Омарбекова У. Ж, Ибрагимов П. Ш., Койбагаров К. У., & Усенбеков Е. С. // Ветеринария. Gylım žәне bilim. – 2023. № 4(73), – С.182–193. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2023-4-1-182-193>.

REFERENCES:

1. Shimizu T., Kawasaki Y., Shimizu T., et al. Effect of Single Nucleotide Polymorphisms of Toll-Like Receptor 4 (TLR4) on Reproductive Performance and Immune Function in Dairy Cows. *Biochem Genet.*, 2017, vol. 55(3), pp. 212–222.
2. El-Domany W.B., Radwan H.A., Ateya A.I., et al. Genetic Polymorphisms in LTF/EcoRI and TLR4/AluI loci as candidates for milk and reproductive performance assessment in Holstein cattle. *Reprod Domest Anim.*, 2019, vol.54(4), pp. 678–686.
3. Xia P., Wu Y., Lian S., et al. Research progress on Toll-like receptor signal transduction and its roles in antimicrobial immune responses. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 2021, vol.105(13), pp. 5341–5355.
4. Ezz M.A., Marey M.A., Elweza A.E. et al. TLR2/4 signaling pathway mediates sperm-induced inflammation in bovine endometrial epithelial cells in vitro. *PLoS One*, 2019, vol.14(4), art. e0214516.
5. Sutopo, Setyorini Y.W., Kurnianto E., et al. Toll-Like Receptor 4 Gene Diversity, Its Potential as a Molecular Marker in Indonesian Dairy Cattle. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 2023, vol. 50(10), pp. 175–183.
6. Novák K., Valčíková T., Samáček K., Bjelka M. Association of Variants in Innate Immune Genes TLR4 and TLR5 with Reproductive and Milk Production Traits in Czech Simmental Cattle. *Genes*, 2024, vol. 15(1), pp. 1–24.
7. Maurić-Maljković M., Vlahek I., Piplica A., et al. Prospects of Toll-Like Receptors in Dairy Cattle Breeding. *Anim Genet.*, 2023, 54(4), pp. 425–434.
8. Guo Y., van Schaik T., Jhamat N., et al. Differential gene expression in bovine endometrial epithelial cells after challenge with LPS; specific implications for genes involved in embryo maternal interactions. *PLoS One*, 2019, vol. 14 (9), art. e0222081.
9. Oladejo A.O., Li Y., Wu X., et al. Modulation of bovine endometrial cell receptors and signaling pathways as a nanotherapeutic exploration against dairy cow postpartum endometritis. *Animals (Basel)*, 2021, vol.11(6), art. 1516.
10. Jecminkova K., Müller U., Kyselova J., et al. Association of Leptin, TLR4, and CXCR1 SNPs with fertility traits in Czech Fleckvieh cattle. *Asian-Australasian J Anim Sci.*, 2018, vol.3(11), pp. 1–8.
11. Bilgen N., Kul B.C., Offord V., Werling D., Ertugrul O. Determination of Genetic Variations of Toll-Like Receptor (TLR) 2, 4, and 6 with Next-Generation Sequencing in Native Cattle Breeds of Anatolia and Holstein Friesian. *Diversity*, 2016, vol.8(4), art. 23.
12. Turgumbekov, A.A., Usenbekov E.S. Issledovanie ER α /BGLI SNP polimorfizma u krupnogo rogatogo skota, associirovannogo s reproductivnoy funkciej [Study of ER α /BGLI SNP polymorphism in cattle associated with reproductive function]. *3i: Intellect, Idea, Innovation*, 2023, (2), pp. 47–51. (In Russian).

13. Turgumbekov A.A., Usenbekov E.S. Issledovanie *GDF9 A625T/DraI* SNP polimorfizma i associativnoe vliyaniye ego allelej na reproduktivnuyu funkciyu korov [Study of *GDF9 A625T/DraI* SNP polymorphism and the associative influence of its alleles on the reproductive function of cows]. *Gylym zhane Bilim*, 2023, 2(2), pp. 121–129. (In Russian)
14. Uzyntleuova A.D., Dzhulanov M.N., Koibagarov K.U., Abzhaliyeva A.B. Siirlardyn zhasyryn endometritin ultradibystyk zertteu diagnostikasy [Ultrasonic diagnosis of latent endometritis in cows]. *Gylym zhane Bilim*, 2024, 1(2), pp. 49–57. (In Russian)
15. Muslimova Zh.U., Nusupova S.T., Usenbekov E.S. Rezul'taty' genotipirovaniya korov golshtinskoj porody' po lokusam genov TLR6 i BRCA1, associirovanny'h s rezistentnost'yu k mastitam [Results of genotyping Holstein cows by TLR6 and BRCA1 gene loci associated with resistance to mastitis]. *Gylym zhane Bilim*, 2024, 1(21), pp. 69–83. (In Russian)
16. Bimenova Zh.Zh., Turgumbekov A.A., Nesipbaeva A.K. Sharuyashylyk zhagdayynda endometritterdi balau, aldyn alu zhane zamanauy emdeu adisterin ontaylandyru [Diagnosis, prevention and optimization of modern treatment methods for endometritis under farm conditions]. *Veterinarnye Nauki*, 2025, 3(2), pp. 284–292. (In Kazakh)
17. Sahariyev E.S., Usenbekov E.S., Muratbayev D.M. Siir endometriti auruynyna sebepshi mikro-organizmdardyn virulenttiligi men antibiotikke rezistenttiligin anyqtau [Determination of virulence and antibiotic resistance of microorganisms causing endometritis in cows]. *Veterinarnye Nauki*, 2025, 2(2), pp. 76–88. (In Kazakh)
18. Hasanova M.A., Aubakirov M.Zh. Morfofunkcional'naya harakteristika yajceprovodov korov pri gipofunkcii yaichnikov [Morphofunctional characteristics of oviducts in cows with ovarian hypofunction]. *Veterinarnye Nauki*, 2023, 2(1), pp. 61–67. (In Russian)
19. Bińkowski J., Miks S., Gene-Calc [Computer software]. 2018, available at: www.gene-calc.pl. <https://gene-calc.pl/hardy-weinberg-page> (accessed 23 April 2026).
20. Usenbekov Y., Turgumbekov A.A., Omarbekova U.Zh., et al. E'ffektivnost' shem sinhronizatsii e'stral'nogo cikla u korov molochny'h porod i optimal'noe vremya iskusstvennogo osemeneniya [Efficiency of estrous cycle synchronization schemes in dairy cows and optimal time for artificial insemination]. *Veterinariya. Gylym zhane bilim*, 2023, 4(73), pp. 182–193. <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2023-4-1-182-193>. (In Russian)

Сведения об авторах:

Нурпеисова Раушан Кадирбаевна* – магистр ветеринарных наук, PhD докторант, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050038, г. Алматы, микрорайон Зердели, дом-1/171, кв-4. тел.: 87007766250, e-mail: rau0504@icloud.com.

Тургумбеков Асет Абдымаратович – PhD доктор, старший преподаватель кафедры клинических дисциплин, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 041600, Алматинская область, Талғарский район, поселок Аркабай, ул. Бухар жырау 5. тел.: 87783579723, e-mail: asset.turgumbekov@kaznaru.edu.kz.

Иманбаев Айткали Альмурзаевич – кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры клинических дисциплин, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050006, г. Алматы, Ауезовский р-н мкр-н Аксай-1А, дом 276 кв 48, тел.: 87017228572, e-mail: aitkali.63@mail.ru.

Усенбеков Есенгали Серикович – кандидат биологических наук, профессор кафедры клинических дисциплин, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050006, г. Алматы, микрорайон Калкаман-2, ул. Абилова 21, тел.: 87059160272, e-mail: yessengali.usenbekov@kaznaru.edu.kz.

Нурпеисова Раушан Кадирбаевна* – ветеринария ғылымдарының магистрі, PhD докторант, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 050038, Алматы қ, Зерделі ықшам ауд, 1/171 – үй, 4 п. тел.: 87007766250, e-mail: rau0504@icloud.com.

Тургумбеков Асет Абдымаратович – PhD доктор, «Клиникалық пәндер» кафедрасының аға оқытушысы, «Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 041600, Алматы облысы, Талғар ауданы, Арқабай ауылы, Бұхаржырау көш, 5. тел.: 87783579723, e-mail: asset.turgumbekov@kaznaru.edu.kz.

Иманбаев Айткали Альмурзаевич – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «Клиникалық пәндер» кафедрасының профессоры, «Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 050006, Алматы қ, Ақсай 1 ықшам ауд, үй 276, пәтер 48. тел.: 8701722857, e-mail: aitkali.63@mail.ru.

Усенбеков Есенгали Серикович – биология ғылымдарының кандидаты «Клиникалық пәндер» кафедрасының профессоры, «Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 050006, Алматы қ, Калкаман 2 ықшам ауданы, Абилов көш, 21. тел.: 87059160272, e-mail: yessengali.usenbekov@kaznaru.edu.kz.

Nurpeissova Raushan Kadirbayevna* – Master of Veterinary Sciences, PhD Student, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Republic of Kazakhstan, 050038, Almaty, Zerdei microdistrict, bld. 1/171, apt. 4., tel.: 87007766250, e-mail: raua0504@icloud.com.

Turgumbekov Asset Abdymaratovoch – PhD, Senior Lecturer of the Department of clinical disciplines, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Republic of Kazakhstan, 041600, Almaty region, Talgar district, Arkabay village, 5 Bukharzhayrau Str., tel.: 87086533257, e-mail: asset.turgumbekov@kaznaru.edu.kz.

Imanbayev Aitkali Almurzayevich – Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of clinical disciplines, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Republic of Kazakhstan, 050026, Almaty, Auezov district, Aksai microdistrict, 1, bld. 27b, apt. 48, tel.: 87017228572, e-mail: aitkali.63@mail.ru.

Ussenbekov Yessengali Serikovich – Candidate of Biological Sciences, Professor of the Department of Clinical disciplines, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Republic of Kazakhstan, 050026, Almaty, 2-Kalkaman microdistrict, 21 Abilov Str., tel.: 87059160272, e-mail: yessengali.ussebekov@kaznaru.edu.kz.

МРНТИ 68.41.31

УДК 637.146

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621056>

ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНАЯ ОЦЕНКА ВЕРБЛЮЖЬЕГО МОЛОКА И ШУБАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕГИОНА И СЕЗОНА

Оспанова М.С. – магистр педагогических наук, старший преподаватель, «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», г. Шымкент, Республика Казахстан.

Сыман К.* – кандидат биологических наук, кафедра биологии, «Казахский национальный педагогический университет имени Абая», г. Алматы, Республика Казахстан.

Яхин Р.Ф. – магистр естественных наук, НАО «Казахский национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова», г. Алматы, Республика Казахстан.

Закирова Ф.Б. – кандидат сельскохозяйственных наук, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, Республика Казахстан.

Цель работы – провести ветеринарно-санитарную оценку качества и безопасности верблюжьего молока и шубата с учётом сезонной и региональной специфики Казахстана и показать экономические последствия отклонений. Анализировались физико-химические характеристики сырого молока (массовая доля жира и белка, титруемая кислотность/pH), микробиологические показатели (общее микробное число, КМАФАнМ, БКГ/колиформы, содержание соматических клеток) и санитарная надёжность шубата как ферментированного продукта (соответствие микробиологическим нормативам и допустимому диапазону кислотности). Отбор проб осуществлялся в четырёх типах кластеров – западном пастбищно-кочевом, южном мелкотоварном, центральном полукооперативном и пригородном индустриализирующемся – во все сезоны года, с фиксацией логистических условий (полевое доение, наличие/отсутствие охлаждения, длительность тёплой транспортировки, тип брожения, санитарное состояние тары). Установлено, что наибольшие риски приходятся на тёплый период в удалённых пастбищных кластерах при неконтролируемом брожении и продолжительной перевозке без охлаждения: растёт доля несоответствий по микробиологии и кислотности, увеличиваются отказы в приёмке, скидки и списания, что снижает маржинальность производителей. Зимой и в ранневесенний период при охлаждении сырья и управляемой ферментации риск существенно ниже, что позволяет формировать ценовую премию и поддерживать позиционирование шубата как функционального продукта. Практические меры включают целевое летнее охлаждение непосредственно после доения, стандартизацию процессов ферментации (использование заквасок, контроль времени и температуры, соблюдение санитарии тары), дифференциацию закупочных цен на основе подтверждённых ветсан-показателей и развитие региональной маркировки «безопасный шубат». Полученные данные подтверждают, что устойчивость ветеринарно-санитарных параметров – ключевой экономический актив в цепочке добавленной стоимости верблюдоводства.

Ключевые слова: верблюжье молоко, шубат, ветеринарно-санитарная оценка, микробиологическая безопасность, сезонность, региональные различия.

ТҮЙЕ СҮТІ МЕН ШҰБАТТЫҢ АЙМАҚҚА ЖӘНЕ МАҰСЫМҒА БАЙЛАНЫСТЫ ВЕТЕРИНАРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ САНИТАРИЯЛЫҚ БАҒАЛАУЫ

Оспанова М.С. – аға оқытушы, педагогика ғылымдарының магистрі, «М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Шымкент қ, Қазақстан Республикасы.

Сыман К.* – биология ғылымдарының кандидаты, «Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті», Алматы қ, Қазақстан.

Яхин Р.Ф. – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті» КЕАҚ, Алматы қ, Қазақстан Республикасы.

Закирова Ф.Б. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Орал қ, Қазақстан Республикасы.

Бұл зерттеудің мақсаты Қазақстанның маусымдық және аймақтық ерекшеліктерін ескере отырып, түйе сүті мен шұбаттың сапасы мен қауіпсіздігіне ветеринарлық-санитарлық бағалау жүргізу және ауытқулардың экономикалық салдарын көрсету болды. Шикі сүттің физика-химиялық сипаттамалары (май мен ақуыздың массалық үлесі, титрленетін қышқылдық/рН), микробиологиялық параметрлері (жалпы микробтық саны, QMAF AnM, BCG/колиформдар, соматикалық жасушалар саны) және ашытылған өнім ретіндегі шұбаттың санитарлық сенімділігі (микробиологиялық стандарттарға және рұқсат етілген қышқылдық диапазонына сәйкестігі) талданды. Сынамалар алу төрт түрлі кластерде жүргізілді: батыс жайылымдық-көшпелі, оңтүстік ұсақ тауарлы, орталық жартылай кооперативтік және қала маңындағы индустрияланушы. Үлгілер жыл мезгілдерінің барлығында алынды, сондай-ақ логистикалық жағдайлар тіркелді (далада сауу, салқындатудың болуы/болмауы, жылы күйде тасымалдау ұзақтығы, ашыту түрі, ыдыстардың санитарлық жағдайы). Ең үлкен қауіптер шалғай жайылым кластерлерінде жылы мезгілде, бақыланбайтын ашыту және тоңазытқышсыз ұзақ тасымалдау кезінде болатыны анықталды. Бұл микробиологиялық және қышқылдық сәйкессіздіктерінің деңгейін арттырады, қабылдаудан бас тартуды, жеңілдіктерді және есептен шығаруды арттырады, өндірушілердің маржасын азайтады. Қыста және ерте көктемде шикізатты тоңазытқышта сақтау және бақыланатын ашыту кезінде тәуекел айтарлықтай төмен болады, бұл бағаның өсуіне мүмкіндік береді және шұбатты функционалды өнім ретінде позициялауды қолдайды. Практикалық шараларға сауғаннан кейін бірден жазғы мақсатты салқындату, ашыту процестерін стандарттау (стартерді пайдалану, уақыт пен температураны бақылау және контейнерлерді санитариялау), расталған ветеринариялық-санитариялық көрсеткіштерге негізделген сатып алу бағаларын саралау және аймақтық «қауіпсіз шұбат» белгілерін әзірлеу кіреді. Алынған деректер ветеринариялық-санитариялық параметрлердің тұрақтылығы түйе өсірудің құндылық тізбегіндегі негізгі экономикалық актив екенін растайды.

Түйінді сөздер: түйе сүті, шұбат, ветеринариялық-санитариялық бағалау, микробиологиялық қауіпсіздік, маусымдық, аймақтық айырмашылықтар.

VETERINARY AND SANITARY EVALUATION OF CAMEL MILK AND SHUBAT DEPENDING ON REGION AND SEASON

Ospanova M.S. – Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan.

Syman K.* – Candidate of Biological Sciences, Department of biology, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Yakhin R.F. – Master of Natural Sciences, Asfendiyarov Kazakh National Medical University NJSC, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Zakirova F.B. – Candidate of Agricultural Sciences, Zhanger Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University NPJSC, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

The research objective was to conduct a veterinary and sanitary assessment of the quality and safety of camel milk and shubat (fermented camel milk drink), taking into account the seasonal and regional specifics of Kazakhstan, and to demonstrate the economic consequences of deviations. The physicochemical characteristics of raw milk (fat and protein mass fraction, titratable acidity/pH), microbiological parameters (total bacterial count, QMAFAnM, BCG/coliforms, somatic cell count), and the sanitary reliability of shubat as a fermented product were analyzed. Sampling was carried out in four cluster types – western pastoral-nomadic, southern small-scale, central semi-cooperative, and suburban industrializing – in all seasons, with logistical conditions recorded (field milking, presence/absence of refrigeration, duration of warm transport, fermentation type, and sanitary condition of containers). It was established that the greatest risks occur during the warm season in remote pasture clusters, with uncontrolled fermentation and prolonged transportation without refrigeration. This increases microbiological and acidity discrepancies, acceptance rejections, discounts, and write-offs, reducing producer margins. In winter and early spring, with refrigeration of raw materials and controlled fermentation, the risk is significantly lower, allowing a price premium and supporting the positioning of shubat as a functional product. Practical measures include targeted summer cooling after milking, standardization of fermentation processes, differentiation of purchase prices based on confirmed veterinary and sanitary indicators, and development of regional "safe shubat" labels. The data confirm that the stability of veterinary and sanitary parameters is a key economic asset in the camel breeding value chain.

Keywords: camel milk, shubat, veterinary and sanitary assessment, microbiological safety, seasonality, regional differences.

Введение. Верблюжье молоко и шубат важны для продовольственной безопасности и здоровья населения Казахстана, особенно в засушливых регионах с развитым верблюдоводством. Они являются источником высокоусвояемого белка, жира, витаминов и биологически активных соединений; шубат позиционируется как функциональный пробиотический продукт, что усиливает интерес к промышленному выпуску и экспорту. Расширение рынка возможно лишь при гарантированной ветеринарно-санитарной безопасности сырья и продукции. В отличие от КРС, производство верблюжьего молока менее стандартизировано по доению, охлаждению и хранению, а технология шубата часто остаётся ремесленной (естественное брожение, транспортировка без строгого температурного контроля), что обуславливает региональные и сезонные различия показателей безопасности и стабильности.

Регионально-сезонный фактор – ключевой: климат, система выпаса, качество воды, санитария доильного оборудования и тары варьируются не только между областями, но и между зимним и летним периодами. Летом жара и длинная логистика повышают бакобсеменённость и ускоряют кислотонакопление; зимой продукция дольше сохраняет исходные свойства. Традиционные способы приготовления/хранения шубата (бытовая закваска, ферментация без контроля pH и температуры) усиливают вариативность. Поэтому в отдельных партиях фиксируются отклонения по микробиологическим показателям, соматическим клеткам, кислотности и иным критериям техрегламентов, что влечёт за собой санитарные и экономические последствия.

Практическая проблема в том, что несоответствие санитарно-ветеринарным требованиям ведёт к прямым потерям: партии сырого молока с повышенной обсеменённостью отклоняются или принимаются по сниженной цене; шубат, не соответствующий нормам по кислотности, микрофлоре или безопасности, не допускается в розницу и списывается. Это означает недополученную выручку и дополнительные затраты на утилизацию, логистику и обработку тары. Для малых хозяйств высокий процент брака в жаркий сезон обнуляет маржу и сдерживает масштабирование. Следовательно, ветеринарно-санитарный контроль – не узко лабораторный вопрос, а ключевой фактор экономической устойчивости производителей и конкурентоспособности регионального продукта.

Цель исследования – ветеринарно-санитарная оценка качества и безопасности верблюжьего молока и шубата по регионам и сезонам Казахстана и определение экономических последствий отклонений. Работа ориентирована не только на описание, но и на выявление связи между санитарными рисками и экономикой производства.

Задачи исследования:

- Оценить физико-химические и микробиологические показатели сырого верблюжьего молока по регионам и сезонам (ОМЧ, соматические клетки, кислотность, доля жира и белка).
- Охарактеризовать ветеринарно-санитарную безопасность шубата с учётом традиционной технологии ферментации.
- Сопоставить показатели с действующими нормами и техрегламентами, определить долю несоответствующих проб.
- Оценить экономические эффекты сезонно-региональных отклонений качества: потери выходной годной продукции, ценовые корректировки при закупке, снижение доходности.

Такой подход увязывает безопасность верблюжьего молока и шубата с устойчивым развитием регионального агропроизводства и продовольственной политики.

Материалы и методы. Исследование шло сразу на нескольких площадках в разных регионах с сезонно-региональной стратификацией: отбор сырого молока в 4 кластерах Казахстана (западный пастбищно-кочевой, южный мелкотоварный, центральный полукооперативный, пригородный индустриализирующийся) в 4 сезона. По ~50 проб молока на сезон ($n \approx 50/\text{сезон}$); для шубата по региону: тёплый период $n \approx 40$, холодный $n \approx 25$. Пробы: молоко – сразу после доения, шубат – на этапе готового продукта до фасовки; стерильная тара. Параллельно фиксировались способ доения/брожения, наличие/отсутствие охлаждения, длительность транспортировки без холода, тип и санитарная обработка тары. Сезоны: зима (декабрь–февраль), весна (март–май), лето (июнь–август), осень (сентябрь–ноябрь).

Физико-химические показатели (жир, белок, титруемая кислотность °T, pH) определяли стандартно: жир – Гербер/ИК, белок – Кьельдаль/ИК, pH – калиброванным pH-метром, кислотность – по ГОСТ. Микробиология сырого молока и шубата – по ГОСТ/ISO: ОМЧ (пластинчатый посев, 30 °C), КМАФАнМ, БКГ/колиформы; соматические клетки – автоматический счётчик (флуоресцентная цитометрия). Для шубата дополнительно контролировали технологическую кислотность ($pH/^\circ T$) и вторичную контаминацию. Соответствие оценивали по ТР ТС 033/2013 и нац. санитарным правилам РК; каждая проба классифицировалась как «соответствует/не соответствует» по каждому критерию.

Статобработка: описательные показатели ($M \pm SD / Me [Q1; Q3]$); сравнение сезонных и региональных групп (ANOVA или Kruskal–Wallis с post-hoc при ненормальности); расчёт доли несоответствующих проб с 95% ДИ. Экономическая оценка: по каждой страте (сезон × кластер) вычисляли долю «проблемных» партий и на её основе – ориентировочные эффекты по цепочке стоимости (дисконт закупочной цены сырого молока, списание/понижение категории шубата, относительное сокращение маржи) с использованием базовых ценовых допущений и фиксированных контрактных сценариев, согласованных с переработчиками.

Результаты. Верблюжье молоко и шубат (ферментированный напиток) в Центральной Азии традиционно рассматриваются как функциональные продукты с иммуномодулирующими, пробиотическими и общеукрепляющими свойствами [1, с. 97; 2, с. 209]. Верблюжье молоко содержит высокую долю биологически ценных белков, иммуноглобулинов, витаминов группы В и отличается гипоаллергенностью по сравнению с коровьим [3, с. 345; 4, с. 400]. В Казахстане и соседних странах они исторически использовались и как лечебно-профилактические средства при ЖКТ, иммунных и метаболических нарушениях [1, с. 99; 5, с. 56], что стимулирует индустриализацию шубата и его позиционирование как «национального пробиотического продукта» для коммерции и экспорта [2, с. 210; 6, с. 5].

Состав шубата определяется исходным профилем верблюжьего молока и микробиотой естественного брожения (молочнокислые бактерии, дрожжи), формирующей кислотность, органолептику и частично санитарную устойчивость [2, с. 210; 7, с. 39]. Однако безопасность не гарантирована: полупромышленные/домашние процессы часто без контроля температуры, времени инкубации и санитарии тары [7, с. 39; 8, с. 27]. Исследования показывают, что нестандартизированная ферментация повышает риск посторонней микрофлоры (в т.ч. условно-патогенной), превышений ОМЧ/КМАФАнМ и наличия БКГ [8, с. 27; 9, с. 19]. Это напрямую ставит вопрос о соответствии партия нормам и техрегламентам ЕАЭС и РК [10; 11].

Ключевой вывод литературы: на безопасность верблюжьего молока сильно влияют условия содержания, технология доения и логистика сырья [4, с. 401; 5, с. 57]. В Казахстане доение часто ведётся в поле при жаре, с хранением и перевозкой без немедленного охлаждения [12, с. 14], что повышает бакобсеменённость (особенно летом) и связано с ростом соматических клеток при субклинических воспалениях. Летняя тепловая нагрузка, пыль, ограниченная гигиена оборудования и долгая доставка усиливают риски и ведут к сезонному ухудшению показателей [9, с. 20]. Следовательно, сезонность – это прежде всего фактор микробиологической стабильности, а не только питательности и выхода жира.

Региональный фактор дополняет сезонный: в западных и южных областях различия в пастбищах, воде, минеральном составе корма, плотности стада и механизации доения влияют на бактериальную и санитарную нагрузку сырья [13, с. 325]. Чем менее централизован сбор и длиннее маршрут «ферма – приём – переработка», тем выше риск несоответствия микробиологическим требованиям ТР ТС 033/2013 и нацправилам [10; 11]. Риски распределены неравномерно, а «качество» молока и шубата становится индикатором организационной зрелости регионального молочного хозяйства [6, с. 6].

Отдельная линия исследований – экономические последствия санитарных отклонений. Для поставщиков сырого молока и шубата несоответствие нормам ведёт к прямым издержкам: отклонение партий, перевод в технические нужды с дисконтом, утилизация или продажа по сниженной цене. В цепочке добавленной стоимости это оборачивается потерей маржи, нестабильностью доходов в «тяжёлые» сезоны и ухудшением переговорной позиции мелких поставщиков перед переработчиками и сетями [14, с. 80]. Тем самым санитарно-ветеринарные параметры становятся фактором экономической устойчивости местного животноводства, особенно в засушливых регионах, где верблюдоводство – одна из немногих адаптированных отраслей АПК [13, с. 325]. В итоге качество верблюжьего молока и шубата рассматривается не только как вопрос здоровья, но и как элемент регионального экономического развития.

Однако, много работ описывают состав и ценность верблюжьего молока/шубата, но нет систематического сопоставления фактических микробиологических и санитарных показателей с нормативными порогами в полевых условиях Казахстана с разбивкой по сезонам и регионам [7, с. 339]. Исследования безопасности традиционных кисломолочных продуктов сосредоточены на технологии брожения и штаммах, но редко связывают санитарные отклонения с прямыми экономическими потерями поставщиков и переработчиков [14, с. 81]. Недостаточно комплексных работ, где оценка сырого молока и шубата рассматривается одновременно как санитарный риск и как фактор ценообразования, закупочных скидок, брака и маржинальности по сезонам [15, с. 819].

Данное исследование даёт ветеринарно-санитарную оценку верблюжьего молока и шубата с учётом сезонной и региональной специфики Казахстана, выявляя периоды и локации максимальных несоответствий; сопоставляет микробиологическую безопасность, соматические клетки, кислотность и физико-химический состав с критериями техрегламента и санитарных правил РК; напрямую связывает санитарные отклонения с экономическими последствиями (списание, удешевление закупки, снижение выхода годной продукции), показывая их влияние на устойчивость региональной экономики АПК.

Качество сырого верблюжьего молока существенно варьирует по сезонам. Зимой–весной показатели жира, белка и кислотности стабильнее из-за щадящих температур и меньшей микробной нагрузки [4, с. 339]. Летом растут общее микробное число и соматические клетки, ускоряется закисление, особенно при длительной транспортировке без охлаждения [12, с. 16]. Осенью и в начале зимы показатели частично нормализуются: снижение температуры сдерживает бактериальный рост, дольше сохраняются исходные свойства без превышения нормативов [5, с. 56]. Сводные физико-химические и микробиологические данные по сезонам приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Сезонные показатели качества сырого верблюжьего молока (условные данные; n≈50/сезон)

Показатель	Зима	Весна	Лето	Осень
Массовая доля жира, %	4,4 ± 0,3	4,2 ± 0,4	3,8 ± 0,4	4,1 ± 0,3
Массовая доля белка, %	3,5 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,2 ± 0,2	3,4 ± 0,2
Кислотность, °Т (титруемая)	17,5 ± 0,8	18,3 ± 1,0	20,8 ± 1,2	18,2 ± 0,9
Общее микробное число, КОЕ/мл (×10 ³)	210 ± 60	280 ± 90	860 ± 140	340 ± 80
Соматические клетки, тыс./мл	250 ± 70	310 ± 80	420 ± 110	290 ± 75
Доля проб с превышением микробиол. норм*, % от выборки	4,3	6,8	19,7	7,5
*Превышение оценивалось относительно действующих норм по ОМЧ и соматическим клеткам при приёме сырья (ТР ТС 033/2013; санитарные правила РК [10; 11]). Примечание: ОМЧ – укрупненно (×10 ³ КОЕ/мл); соматические клетки – средние без разделения на клинический/субклинический мастит. Значения: среднее ± SD по сезонам. Данные далее используются для анализа санитарных рисков и экономических потерь [1; 4; 12].				

Сезонные пики ОМЧ и соматических клеток приходятся на лето из-за полевых условий доения без стационарных залов и сложностей с гигиеной и тарой. Отсутствие мгновенного охлаждения ускоряет рост микрофлоры и повышает долю несоответствий ветеринарно-санитарным нормам. Жара, пыль и тепловой стресс усиливают субклинические воспаления вымени и рост соматических клеток. В холодный сезон температура ниже и логистика «тёплой» цепочки короче, что замедляет обсеменение. Санитарная уязвимость выражена сезонно, максимум нагрузки на контроль – в тёплый период.

Данные Таблицы 1 подтверждают: критическая зона – лето, когда максимальна доля проб с превышением ОМЧ и ростом соматических клеток по сравнению с зимой/осенью. Риск санитарного брака и экономического обесценения партии концентрируется в жаркий сезон. Для переработчиков и хозяйств нужны сезонные меры – быстрое охлаждение и короткая логистика летом – помимо общей стандартизации доения. Показатели управляемы: проблемные периоды совпадают с ухудшением условий содержания, доения и транспортировки, что подчёркивает важность сезонно-специфического контроля.

Санитарно-ветеринарная безопасность шубата выражено варьирует по регионам и зависит от качества сырья, технологии брожения, режимов хранения и логистики. Различается доля проб, не соответствующих требованиям по микробиологии (ОМЧ, условно-патогенная микрофлора, КМАФАнМ, БКГ) и кислотности (рН/титруемая). Диапазон – от безопасного промышленного розлива до партий с признаками неконтролируемой ферментации и вторичной контаминации. Сравнительные доли несоответствий и параметры цепочки (тип брожения, длительность транспортировки без охлаждения) приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Региональные различия санитарной безопасности шубата (условные данные; n≈40/регион – тёплый период, n≈25/регион – холодный период)

Регион (условно)	Доля проб с превышением микробиол. норм-в*, %	Доля проб с откл-ем кисти (рН/°Т) от нормы**, %	Сред. длит. трансп-ки охл-я, ч	Преобладающая технология брожения шубата
Западный (пастбищно-кочевой)	22,5	18,0	3,5–4,0	Традиционная (брожение в хозяйстве, тара бытовая)
Южный (мелкотоварные хозяйства)	19,3	15,7	2,5–3,0	Смешанная (традиционная + частичное охлаждение)
Центральный (полукооперативный)	11,4	9,8	1,5–2,0	Полуиндустриальная (брожение в санитарных емкостях)
Пригородный индустриализирующийся кластер	5,6	4,2	≤1,0	Индустриально-контролируемая (закваска, охлаждение)
*«Превышение микробиологических нормативов» – доля проб с ОМЧ/КМАФАнМ/БКГ выше ПДК по ветсан требованиям [7; 8; 10; 11]. **«Отклонение кислотности» – доля проб с титруемой кислотностью или рН вне допустимого диапазона для безопасного ферментированного продукта; признак неконтролируемого брожения/постбродильной контаминации [2; 12; 14]. Примечание: «Средняя длительность транспортировки без охлаждения» – время при t° окружающей среды до приёмки/фасовки. «Традиционная» – ферментация в хозяйстве на предшествующей закваске без жёсткого t-режима; «полуиндустриальная/индустриальная» – санитарные резервуары, контроль длительности, охлаждение перед перевозкой [4; 7; 11].				

Санитарная нестабильность шубата в ряде регионов превращается в риск для потребителя: повышенные ОМЧ и условно-патогенная микрофлора перегружают ЖКТ у уязвимых групп, а неконтролируемый рост кислотности делает продукт непредсказуемым по органолептике и переносимости. Для

розницы это значит, что «региональный шубат» может не соответствовать требованиям техрегламента и санитарных правил РК [10; 11]. Проблема двойная: санитарно-ветеринарная и маркетинговая – барьер для цивилизованной дистрибуции и позиционирования шубата как функционального продукта с экспортным потенциалом.

Данные Таблицы 2 показывают: регионы с традиционным брожением и длинной тёплой логистикой дают наибольшую долю несоответствий по микробиологии и кислотности; при короткой цепочке «брожение – охлаждение – сбыт» санитарный брак существенно ниже. Следовательно, безопасность шубата – управляемая технологическая характеристика цепочки, а репутация и бренд зависят от стандартизации брожения, гигиены тары и контролируемой холодовой логистики не меньше, чем от качества сырья.

Санитарные отклонения в сыром молоке и шубате ведут к прямым потерям для всей цепочки – от мелких производителей до переработчиков и розницы. Наибольший брак – летом в регионах с длительной тёплой логистикой и традиционным/полутрадиционным брожением (западный пастбищно-кочевой, южный мелкотоварный кластеры); доля несоответствий выше, чем зимой и осенью (см. Табл. 1–2). Переработчик не может платить полную контрактную цену из-за санитарных, юридических и репутационных рисков; партии принимаются с дисконтом или блокируются. При явных превышениях/неконтролируемом брожении шубат списывается в техн./кормовые цели или утилизируется – полная потеря выручки по партии.

Для фермеров это оборачивается: снижением закупочной цены – «проблемное» летнее сырьё с повышенными ОМЧ/соматическими клетками принимается по $X-\Delta$ вместо X ; Δ – санкционный дисконт за санитарный риск. По сути, несоблюдение гигиены доения/охлаждения сразу бьёт по выручке. По шубату брак не всегда смешивается: партии возвращаются, не допускаются в сеть или списываются. Итог – не только дисконт, но и риск полного нереализационного списания. Для мелких хозяйств это критично: один «плохой» день может съесть маржу нескольких «хороших», поскольку издержки уже понесены, а выручка не получена.

Для переработчиков санитарный риск материален: постоянные затраты на лабораторный контроль и сортировку партий входят в себестоимость; репутационный/рыночный риск – выход в розницу продукта с признаками неконтролируемого брожения снижает доверие к региональному бренду и готовность сетей брать товар под СТМ как «функциональный национальный продукт». Это давит на отпускную цену. Теоретическая премия за стабильное ветсан-качество (безопасный локальный пробиотический продукт) реализуется лишь при гарантированной стабильности; где её нет – премия не достигается. Санитарные проблемы прямо ограничивают «монетизацию» шубата как дифференцированного продукта с добавленной стоимостью.

Сводная оценка экономических последствий (доля брака, дисконт по цене сырья, потери переработчика, сокращение маржи хозяйства) приведена в Таблице 3. Наиболее уязвимы летние поставки из регионов с длинной тёплой логистикой без охлаждения: там максимальны доля брака, дисконт и потери маржи.

Таблица 3 – Экономические последствия санитарного брака (условные оценки по сезонам и кластерам; базовая цена: 100 тг/л молока, 180 тг/л шубата)

Сезон / Период	Региональный кластер	Доля санит. пробл. партий*, % от объёма поставок	Диск. закуп. цены сырого вербл. м-ка**, тг/л	Оценка пониж. к-рии шубата***, тг/л гот. пр-та	Снижение маржи хозяйства относ. «норм.» периода, %
Лето (тёплый пик)	Западный (пастбищно-кочевой, дальняя тёплая логистика)	18–22	12–15	20–24	14–18
Лето (тёплый пик)	Южный (мелкотоварные хозяйства, смешанная ферментация)	15–18	9–12	15–18	10–14
Осень (переходный)	Центральный (полукооперативный, частично охлаждённый сбор)	7–9	4–6	6–8	4–6
Зима / ранняя весна	Пригородный кластер (индустриально-контролируемое брожение, короткая логистика)	3–4	0–2	2–3	1–2

*«Санитарно проблемные партии» – сырьё/шубат с превышениями по микробиологии (ОМЧ, КМАФАнМ, БКГ) или кислотности/стабильности брожения; не принимаются полностью либо принимаются со снижением качества [2; 4; 7; 10; 11; 12; 14].

**«Дисконт закупочной цены» – снижение цены приёма литра сырого молока относительно нормативной; фактически штраф за санитарный риск до нормализации лабораторных показателей [4; 6; 12; 14].

***«Потери переработчика» – списание шубата, перевод в низкомаржинальные каналы и репутационные ограничения, мешающие позиционировать продукт как «качественный/функциональный» [2; 6; 14].

Летом (при длинной тёплой логистике без охлаждения): брак 18–22% поставок, дисконт 12–15 тг/л молока, потери переработчика 20–24 тг/л шубата, маржа фермеров –14–18%. Зимой–ранней весной (индустриально-контролируемая ферментация, короткая логистика): брак 3–4%, дисконт ≈0, маржа почти без изменений.

Данные Таблицы 3 показывают: ветсанриски – не частный технологический сбой, а системный экономический фактор. Летом в ряде регионов доля брака/дисконтированных партий ведёт к двузначному падению маржи фермеров, а переработчики вынуждены либо повышать отпускные цены, либо отказываться от позиционирования шубата как высококачественного бренда. Отсутствие устойчивого контроля в пик риска снижает доходность фермеров, сужает контрактную базу переработчиков и ограничивает рыночный статус продукта. Вывод: необходимы сезонно-ориентированные меры – охлаждение в поле, короткая логистика, стандартизированная ферментация.

Ветсанкачество сырого верблюжьего молока и шубата напрямую влияет на позиционирование, цену и доступ к маржинальным каналам. В цепочке «фермер – переработчик – розница» качество фиксируется экономически: стабильные по микробиологии/соматическим клеткам/кислотности партии получают премию, нестабильные – дисконтируются или не допускаются к пищевой реализации. На практике зимне-весенние поставки с низкой обсеменённостью, предсказуемой кислотностью и меньшей долей брака (см. Табл. 1) продаются выше базовой цены, поскольку переработчик закладывает снижение риска списаний и репутационных потерь. Иными словами, сезонная ветсан-стабильность сама становится монетизируемой товарной характеристикой.

Ценовой механизм двусторонний. Высокая санитарная надёжность (низкие превышения по микробиологии, устойчивые физико-химические параметры) даёт фермеру аргумент для фиксированной контрактной цены выше «уличной» – с премией за качество; особенно при инвестициях в мгновенное охлаждение и ветконтроль стада (снижение соматических клеток). Там, где стабильность не обеспечена (летний пик в жарких регионах с длинной тёплой логистикой), фермер теряет переговорную позицию и сдаёт молоко с дисконтом, а переработчик не может позиционировать продукт как безопасный и премиальный. Это снижает текущую цену и стратегическую конкурентоспособность региона как поставщика качественного сырья.

Шубат в рознице позиционируется как «традиционный напиток», но именно ветсан-стабильность позволяет перевести его в нишу функционального пробиотического продукта локального происхождения [2, с. 210; 6, с. 5]. Международные работы по верблюжьему молоку отмечают высокую биологическую активность белковых/иммунных фракций и потенциал ферментатов как пробиотиков [1, с. 99; 3, с. 343]. При подтверждённом микробиологическом контроле и стандартизированной культуре брожения шубат может продаваться как функциональный напиток с прогнозируемой безопасностью – товар с добавленной стоимостью [10–14]. Для этого нужна маркировка «сертифицирован по ветсан-показателям» (лабораторный контроль + стандартизация брожения и охлаждения), что становится маркируемым признаком и основанием для ценовой премии.

Экспортная привлекательность шубата напрямую зависит от воспроизводимости ветсан-параметров. Для выхода за пределы локальных рынков продукт должен быть документируемо безопасным по микробиологии и кислотности, включая контроль условно-патогенной микрофлоры и соответствие техрегламенту «О безопасности молока и молочной продукции» [10; 11]. Иными словами, качественный шубат – это юридически продаваемый продукт. Санитария – стратегический ресурс конкурентоспособности: кластер, гарантированно обеспечивающий стабильность по микробиологии и кислотности, может претендовать на региональный бренд с экспортным потенциалом; если летом половина партий уходит в брак – нет [7, с. 40; 14, с. 81]. Следовательно, ветсан-контроль – основа рыночной дифференциации и ценовой премии для локально маркируемого продукта верблюдоводства.

Санитарная стабильность верблюжьего молока и шубата – фактор устойчивости региональных агропродсистем, сельской занятости и продбезопасности степных/полупустынных территорий. Верблюдоводство адаптировано к засушливому климату и дефициту воды [1, с. 99; 13, с. 320], поэтому стабильный выпуск безопасного молока/шубата поддерживает доходы домохозяйств и занятость (доильщики, водители, цеха брожения/фасовки, розница, логистика) [12, с. 16; 14, с. 81]. Летняя нестабильность качества (максимум брака и потерь маржи; см. Табл. 3) подрывает отрасль: переработчик сокращает приёмку, сбыт сжимается, мелкие производители теряют персонал и техобслуживание. Итог – риск эрозии всей региональной цепочки добавленной стоимости.

Санитария напрямую связана с продбезопасностью отдалённых районов. В степных/полупустынных зонах верблюжье молоко и шубат – и повседневный продукт, и товар для монетизации пастбищного ресурса [13, с. 325]. При устойчивых показателях (низкая обсеменённость, контролируемая кислотность, предсказуемое брожение) продукт входит в формальные каналы – от кооперативных пунктов до сетевой розницы, обеспечивая предсказуемые доходы и удержание хозяйств в отрасли [14, с. 81]. При низкой стабильности шубат не допускается в розницу, уходит в «серые» каналы с низкой ценой и без контроля качества, что ухудшает защиту потребителя [7, с. 40; 10; 11]. Итог: санитария – инструмент удержания продукта внутри регулируемого пространства региона.

Ветсанмониторинг в отрасли – экономический инструмент, а не только надзор. Регулярный контроль ОМЧ, соматических клеток и ферментации (pH, титруемая кислотность) позволяет управлять

сезонными рисками потери маржи (см. Табл. 1 и 3). Зная, что лето – пик брака, хозяйство целенаправленно инвестирует в сезонные меры: мгновенное охлаждение, сокращение тёплой логистики, стандартизацию брожения [14, с. 81]. Для переработчиков сезонно-региональный мониторинг – база контрактной политики: премии за стабильность «надёжным» поставщикам и/или отбор только в «безопасные» месяцы. Итог: ветсанконтроль – часть управления цепочкой поставок и финансовыми рисками, а не формальная регуляторика [12, с. 16].

Интегрально сезонно-региональные риски и их экономические последствия показаны в схеме уязвимости цепочки стоимости: от доения и охлаждения, через транспортировку и ферментацию, к фасовке и реализации. На ключевых этапах (летнее полевое доение; тёплая дальняя логистика без холода; неконтролируемая ферментация в бытовой таре) формируются микробиологические отклонения и сдвиги кислотности, конвертирующиеся в дисконт цены сырого молока, списание шубата и потерю статуса «качественный продукт» на рынке (Рисунок 1). Рисунок также может быть оформлен как тепловая карта по регионам/сезонам: зоны критического риска – лето в удалённых пастбищных кластерах; зоны управляемого риска – зима/весна при короткой логистике и контролируемой ферментации.

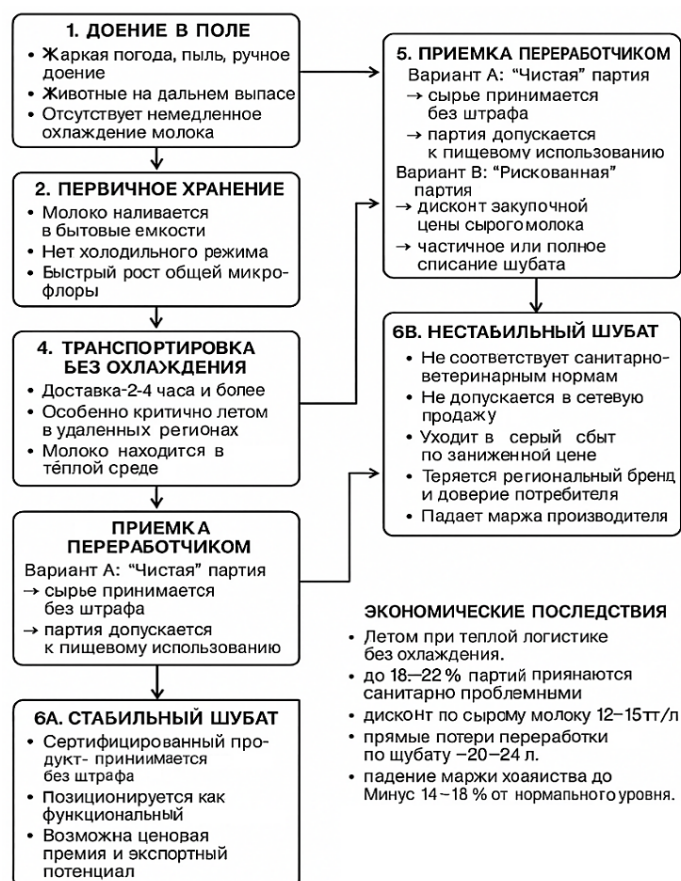


Рисунок 1 – Схема цепочки уязвимости

Как видно из Рисунок 1, устойчивость отрасли зависит не только от климата и поголовья, но и от способности обеспечивать ветсан-стабильность в наихудший сезон. Если регион технологически снижает летние риски (короче тёплая логистика, охлаждение, стандартизированное брожение), он сохраняет доходы малых хозяйств и статус шубата как безопасного регионального продукта; иначе летние потери маржи (см. Табл. 3) и высокий брак размывают занятость, сужают формальные каналы сбыта и повышают продовольственную уязвимость. Вывод: ветсанконтроль – элемент региональной политики устойчивого АПК, а не лишь санитарная инспекция.

Обсуждение. Повышение санитарной устойчивости требует целевых технологических и экономических мер в пиковые зоны риска (лето, длинная тёплая логистика без охлаждения): обеспечить быстрое охлаждение сырья сразу после доения (переносные/малогабаритные охладители, изотермические ёмкости, кратковременное контролируемое хранение) для резкого сокращения «тёплого окна»; стандартизировать брожение шубата (управляемая закваска, контроль температуры и длительности, санитарная обработка тары, обучение персонала) для предотвращения постбродильной контаминации и срывов кислотности; усилить ветконтроль стада в периоды нагрузки (жара, пыль, дефицит воды) с профилактикой субклинического мастита, чтобы снизить соматические клетки и риск «проблемных» партий, дисконтов и отказов в приёмке.

Наряду с технологиями нужна экономическая поддержка мелких хозяйств. Инструменты: дифференциация закупочной цены по подтверждённому *vet-sap* качеству с премией за стабильные показатели (микробиология, соматические клетки, кислотность) даже летом; субсидии/лизинг малогабаритных охладителей, санитарных ёмкостей и базового лабораторного контроля для отдалённых хозяйств – точечные вложения, окупающиеся снижением доли брака; бренд «безопасный шубат» на основе документируемых стандартов брожения, охлаждения и логистики. Это делает качество экономическим аргументом, усиливает мотивацию инвестиций, открывает доступ к рынкам с премией и удер­живает добавленную стоимость в регионе.

Ветсанкачество верблюжьего молока и шубата в Казахстане – структурный фактор устойчивости отрасли, влияющий на здоровье потребителей, экономику фермеров, переговорную позицию переработчиков, статус регионального продукта и занятость. Санитарные отклонения концентрируются летом в удалённых кластерах с тёплой логистикой и традиционным брожением, где максимальны потери маржи, дисконт сырья и репутационные риски. Ключ – точечные управляемые меры: мгновенное охлаждение после доения, стандартизация брожения, контроль кислотности и микробиологии, контракты с премией за подтверждённое качество. Санитарная стабильность становится экономическим активом региона, а ветсанмониторинг – инструментом развития устойчивого верблюдоводства и легитимного рыночного статуса шубата как функционального продукта.

Заключение. Санитарно-ветеринарные показатели качества сырого верблюжьего молока и шубата в Казахстане зависят от сезона и региона: летом выше бакобсеменённость, соматические клетки и риск сдвига кислотности; в удалённых пастбищных кластерах с длинной логистикой без охлаждения доля несоответствий значительно выше, чем в пригородных кластерах с охлаждением и контролируемой ферментацией. Наиболее уязвимы летние поставки из западных и южных кластеров с полевым доением, неохлаждаемым хранением и транспортировкой, а также брожением без контроля pH; минимально уязвимы – зимние и ранневесенние поставки при короткой логистике и индустриально-контролируемой ферментации.

Санитарные риски прямо конвертируются в экономические потери: фермеры получают дисконт к закупочной цене сырья, переработчики несут списания или переводят шубат в низкомаржинальные каналы, регион теряет возможность премиального позиционирования; в пиковых случаях маржа хозяйств падает на двузначные величины, обесценивается бренд «регионального шубата». Приоритетные шаги: сезонно-ориентированное охлаждение сырья сразу после доения летом; стандартизация ферментации (контроль времени, температуры, кислотности); ценовая дифференциация в пользу стабильных поставщиков; поддержка покупки мобильного охлаждающего и санитарного оборудования; продвижение сертифицируемого статуса «безопасный шубат». Ветсанконтроль следует рассматривать как инструмент устойчивости цепочки добавленной стоимости, а не формальный надзор.

Ограничения исследования: охвачена ограниченная выборка регионов и сезонов, возможна межгодовая вариация (погода, вода, нагрузка на стадо); не проводилась молекулярная типизация микророботы, не анализировались минерально-кормовые различия рациона, не рассчитана полная структура себестоимости; экономические оценки потерь и дисконтов ориентировочные и зависят от цен и договорных схем.

Следующие шаги: расширение панели наблюдений по времени (несколько лет/сезонов), сравнение хозяйств внутри региона по технологии (традиционная vs полуиндустриальная), оценка эффективности точечных вмешательств (охлаждение на месте, стандартизированная закваска) в снижении брака и защите маржи, анализ готовности потребителей и сетей платить премию за сертифицированный «безопасный шубат», проработка модели региональной маркировки качества для стимулирования производителей и позиционирования на внутренних и внешних рынках.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Konuspayeva, G., Faye, B., Loiseau, G. The composition of camel milk: a comparative study with cow milk** [Text] / G. Konuspayeva, B. Faye, G. Loiseau // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2009. – Vol. 22. – Issue 2. – P. 95–101. – <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.09.008>.
2. **Konuspayeva, G., Faye, B. Fermented camel milk (shubat): Traditional product and prospects for functional food markets in Central Asia** [Text] / G. Konuspayeva, B. Faye // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. – 2011. – Vol. 23. – Issue 3. – P. 202–211.
3. **El-Agamy, E.I. Camel milk** [Text] / E.I. El-Agamy // *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*. – Ames: Blackwell Publishing, 2006. – P. 297–344.
4. **Faye, B., Konuspayeva, G. Technical challenges in camel milk collection and quality control under extensive farming systems** [Text] / B. Faye, G. Konuspayeva // *Acta Veterinaria Brno*. – 2012. – Vol. 81. – Issue 4. – P. 397–402.
5. **Абдрахманов, К.М., Сейтказина, Г.К. и др. Биологические особенности и пищевая значимость верблюжьего молока в условиях Казахстана** [Текст] / К.М. Абдрахманов, Г.К. Сейтказина и др. // *Вестник аграрной науки Казахстана*. – 2018. – № 4. – С. 51–58.

6. Faye, B. The camel milk value chain in pastoral regions: Economics, quality, and market access challenges [Text] / B. Faye // *Journal of Arid Environments*. – 2014. – Vol. 106. – P. 1–7.
7. Султанбаева, А.Т., Конысбаева, Г.С., Карибаева, Л.Т. Микробиологические характеристики шубата как ферментированного продукта верблюжьего молока [Текст] / А.Т. Султанбаева, Г.С. Конысбаева, Л.Т. Карибаева // *Пищевая промышленность Казахстана*. – 2020. – № 2. – С. 34–41.
8. Киселёва, Н.П., Плотникова, Л.А. Ветеринарно-санитарная оценка традиционных кисломолочных продуктов с нерегламентированной ферментацией [Текст] / Н.П. Киселёва, Л.А. Плотникова // *Ветеринария и кормление*. – 2019. – № 7. – С. 22–28.
9. Мусаев, Ж.А., Тажибаева, У.Б. Контаминация патогенной микрофлорой в мелкотоварном производстве молочных продуктов и пути её снижения [Текст] / Ж.А. Мусаев, У.Б. Тажибаева // *Ветеринарная санитария, гигиена и экология*. – 2021. – № 5. – С. 15–21.
10. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» [Текст]. – Евразийская экономическая комиссия, 2013.
11. Министерство здравоохранения Республики Казахстан. Санитарные правила по обеспечению безопасности молока и молочных продуктов при заготовке, хранении, транспортировке и переработке [Текст]. – Нур-Султан: МЗ РК, 2022.
12. Жумагулов, А.С., Мурзагалиева, А.К., Жансеитова, Н.А. Факторы бактериальной обсеменённости верблюжьего молока при летнем выпасе и полевых условиях доения [Текст] / А.С. Жумагулов, А.К. Мурзагалиева, Н.А. Жансеитова // *Вестник ветеринарии Казахстана*. – 2020. – № 3. – С. 9–16.
13. Faye, B. Role, distribution and perspective of camel breeding in the third millennium [Text] / B. Faye // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. – 2015. – Vol. 27. – Issue 4. – P. 318–327. – <https://doi.org/10.9755/ejfa.v27i4.19906>.
14. Каирбекова, Д.Е., Сарсенова, Р.А. Экономические потери хозяйств верблюдоводства, связанные с ветеринарно-санитарным браком молочного сырья [Текст] / Д.Е. Каирбекова, Р.А. Сарсенова // *Экономика и аграрный рынок*. – 2021. – № 6. – С. 73–82.
15. Al Haj, O.A., Al Kanhal, H.A. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk [Text] / O.A. Al Haj, H.A. Al Kanhal // *International Dairy Journal*. – 2010. – Vol. 20. – Issue 12. – P. 811–821. – <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2010.04.003>.

REFERENCES:

1. Konuspayeva G., Faye B., Loiseau G. The composition of camel milk: a comparative study with cow milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2009, vol. 22, iss. 2, pp. 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.09.008>.
2. Konuspayeva G., Faye B. Fermented camel milk (shubat): Traditional product and prospects for functional food markets in Central Asia. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2011, vol. 23, iss. 3, pp. 202–211.
3. El-Agamy E.I. Camel milk. In: *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*. Ames, Blackwell Publishing, 2006, pp. 297–344.
4. Faye B., Konuspayeva G. Technical challenges in camel milk collection and quality control under extensive farming systems. *Acta Veterinaria Brno*, 2012, vol. 81, iss. 4, pp. 397–402.
5. Abdrahmanov K.M., Seitkazina G.K. et al. Biologicheskie osobennosti i pishhevaya znachimost' verblyuzh'ego moloka v usloviyah Kazahstana [Biological characteristics and nutritional value of camel milk in Kazakhstan]. *Vestnik agrarnoy nauki Kazahstana*, 2018, no. 4, pp. 51–58. (In Russian)
6. Faye B. The camel milk value chain in pastoral regions: Economics, quality, and market access challenges. *Journal of Arid Environments*, 2014, vol. 106, pp. 1–7.
7. Sultanbaeva A.T., Konysbaeva G.S., Karibaeva L.T. Mikrobiologicheskie harakteristiki shubata kak fermentirovannogo produkta verblyuzh'ego moloka [Microbiological characteristics of shubat as a fermented camel milk product]. *Pishhevaya promyshlennost' Kazahstana*, 2020, no. 2, pp. 34–41. (In Russian)
8. Kiseleva N.P., Plotnikova L.A. Veterinarno-sanitarnaya ocenka tradicionny'h kislomolochny'h produktov s nereglementirovannoy fermentaciej [Veterinary and sanitary assessment of traditional fermented milk products with unregulated fermentation]. *Veterinariya i kormlenie*, 2019, no. 7, pp. 22–28. (In Russian)
9. Musaev Zh.A., Tazhibaeva U.B. Kontaminatsiya patogennoj mikrofloroj v melkotovarnom proizvodstve molochny'h produktov i puti eyo snizheniya [Contamination by pathogenic microflora in small-scale dairy production and ways to reduce it]. *Veterinarnaya sanitariya, gigiena i e'kologiya*, 2021, no. 5, pp. 15–21. (In Russian)
10. Tehnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 033/2013 “O bezopasnosti moloka i molochnoj produkci” [Technical Regulation of the Customs Union TR CU 033/2013 “On safety of milk and dairy products”]. *Eurasian Economic Commission*, 2013. (In Russian)

11. **Ministerstvo zdravoohraneniya Respubliki Kazakhstan. Sanitarny'e pravila po obespecheniyu bezopasnosti moloka i molochny'h produktov pri zagotovke, hranenii, transportirovke i pererabotke** [Sanitary rules for ensuring the safety of milk and dairy products during procurement, storage, transportation and processing]. *Nur-Sultan*, MZ RK Publ., 2022. (In Russian)

12. **Zhumagulov A.S., Murzagalieva A.K., Zhanseitova N.A. Faktory' bakterial'noj obsemenyon-nosti verblyuzh'ego moloka pri letnem vy'pase i polevy'h usloviyah doeniya** [Factors of bacterial contamination of camel milk during summer grazing and field milking conditions]. *Vestnik veterinarii Kazakhstana*, 2020, no. 3, pp. 9–16. (In Russian)

13. **Faye B. Role, distribution and perspective of camel breeding in the third millennium.** *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 2015, vol. 27, iss. 4, pp. 318–327. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v27i4.19906>.

14. **Kairbekova D.E., Sarsenova R.A. E'konomicheskie poteri hozyajstv verblyudovodstva, svyazanny'e s veterinarno-sanitarny'm brakom molochnogo sy'r'ya** [Economic losses of camel-breeding farms associated with veterinary and sanitary defects of milk raw materials]. *E'konomika i agrarny'j ry'nok*, 2021, no. 6, pp. 73–82. (In Russian)

15. **Al Haj O.A., Al Kanhal H.A. Compositional, technological and nutritional aspects of dromedary camel milk.** *International Dairy Journal*, 2010, vol. 20, iss. 12, pp. 811–821. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2010.04.003>.

Сведения об авторах:

Оспанова Мухаддас Сабировна – старший преподаватель, магистр педагогических наук, «Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова», Республика Казахстан, 160000, г. Шымкент, ул. Тауке хана, 5, тел.: 87029705045, e-mail: ospanovamuhadas@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3920-6458.

Сыман Куаныш* – кандидат биологических наук, кафедра биологии, «Казахский национальный педагогический университет имени Абая», Республика Казахстан, 050000, г. Алматы, тел.: 87786773575, e-mail: k.syman@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0313-1391.

Яхин Ринат Фларитович – магистр естественных наук, НАО «Казахский национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова», Республика Казахстан, 050012, г. Алматы, ул. Төле би, 94, e-mail: yakhin.r@kaznmu.kz, ORCID: 0009-0002-0628-4174.

Закирова Фаруза Бакиджановна – кандидат сельскохозяйственных наук, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, 51, e-mail: Faruza_zakir@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4467-5427.

Оспанова Мұхаддас Сабырқызы – аға оқытушы, педагогика ғылымдарының магистрі, «М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті», Қазақстан Республикасы, 160000, Шымкент қ., Тауке хан көш, 5, тел.: 87029705045, e-mail: ospanovamuhadas@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3920-6458.

Сыман Куаныш* – биология ғылымдарының кандидаты, Биология кафедрасы, «Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті», Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., тел.: 87786773575, e-mail: k.syman@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0313-1391.

Яхин Ринат Фларитович – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «С.Д. Асфендияров атындағы Қазақ ұлттық медицина университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 050012, Алматы қ., Төле би көш, 94, e-mail: yakhin.r@kaznmu.kz, ORCID: 0009-0002-0628-4174.

Закирова Фаруза Бакиджановна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 090009, Орал қ., Жәңгір хан көш, 51, e-mail: Faruza_zakir@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4467-5427.

Ospanova Mukhaddas Sabirovna – Senior Lecturer, Master of Pedagogical Sciences, M.Auezov South Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, 160000, Shymkent, 5 Tauke Khan Str., tel.: 87029705045, e-mail: ospanovamuhadas@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3920-6458.

Syman Kuanysh* – Candidate of Biological Sciences, Department of biology, Faculty of natural sciences and geography, Abay Kazakh National Pedagogical University, Republic of Kazakhstan, 050000, Almaty, tel.: 87786773575, e-mail: k.syman@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0313-1391.

Yakhin Rinat Flaritovich – Master of Natural Sciences, Asfendiyarov Kazakh National Medical University NJSC, Republic of Kazakhstan, 050012, Almaty, 94 Tole Bi Str., e-mail: yakhin.r@kaznmu.kz, ORCID: 0009-0002-0628-4174.

Zakirova Faruza Bakidzhanovna – Candidate of Agricultural Sciences, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 51 Zhangir Khan Str., e-mail: Faruza_zakir@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4467-5427.

ХҒТАР 68.41.31

ӨОЖ 619:615.285:631

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621067>

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНДАҒЫ МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҚОРА-ЖАЙЛАРЫНДА ЗООФИЛЬДІ ШЫБЫНДАРҒА ҚАРСЫ ДЕЗИНСЕКЦИЯЛЫҚ ІС-ШАРАЛАРДЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІ

Шамғунов Н.А.* – ветеринария ғылымдарының магистрі, ветеринарлық медицина кафедрасының PhD докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Аубакиров М.Ж. – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Еренко Е.Н. – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Шарипова А.А. – ветеринария ғылымдарының магистрі, ветеринарлық медицина кафедрасының PhD докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада жас мал қораларында «Дельцид» инсектицидін қолдану арқылы дезинсекциялау және деларвациялаудың экономикалық тиімділігінің нәтижелері келтірілген. Экономикалық әсерін анықтау үшін алдымен зоофильді шыбындарға қарсы өңдеуден бұрын және кейін жас малдың өнімділігі туралы деректер жиналды. Абдибеков шаруа қожалығының аумағы мен қора-жайларында жануарларды шыбындардың алты түрі мазалап отырғаны анықталды: төрт тұқымдастың бес түріне жататын *Musca domestica* L., *Muscina stabulans* Fll., *Fannia canicularis* L., *Calliphora vicina*, *Calliphora uralensis* және *Sarcophaga carnaria*. Жануарлар болмаған кезде қора-жайларда шыбындарды бақылау 0,04% және 0,25% концентрациядағы Дельцид қосылған Колорадо қолдық аспалы бүріккіш пайдаланып, сіңірмейтін және сіңіретін беттерге 50 және 100 мл/м² сулы эмульсия шашылды. Ішкі қабырғалар, терезелер және кіреберіс қақпалары өңделді.

Сонымен қатар, шыбындардың көбею орындары деларвацияланды. Бұған дейін субстрат дернәсілдерінің саны анықталды, орташа есеппен 197 дана/кг-ға жетті. Дельцид бұзау қорасындағы сабан төсеніштері мен көң жиналатын жерлерді 2 л/м² жылдамдықпен өңдеу үшін 0,06% (белсенді инердиент) концентрациясында қолданылды. Өңдеуден кейінгі күні субстраттың бір кг-на 29 тірі дернәсіл анықталды, бұл емдеу тиімділігінің 85,2%-ды құрағанын көрсетеді. Тәжірибелік бұзау қораларында жүргізілген дезинсекция және жойылып кетуден арылу ет өнімділігінің төмендеуіне жол бермеді, оны Ждановка ауылындағы бақылау қорасындағы бұзау өнімділігімен салыстырғанда 16,5%-ға арттырды.

Түйінді сөздер: шыбындар, жас ірі қара мал, зақымдану, жәндіктер, дезинсекция, тиімділік.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЗИНСЕКЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ОТ ЗООФИЛЬНЫХ МУХ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Шамғунов Н.А.* – магистр ветеринарных наук, докторант кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Аубакиров М.Ж. – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Еренко Е.Н. – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Шарипова А.А. – магистр ветеринарных наук, докторант кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Представлены результаты экономической эффективности по дезинсекции и деларвации в помещениях для содержания молодняка крупного рогатого скота, с использованием инсектицидного препарата «Дельцид». Для определения экономического ущерба, первоначально были собраны данные о продуктивности молодняка крупного рогатого скота до и после обработки против зоофильных мух. Установлено, что на территории и в помещениях К/Х Абдибеков, беспокойство животным причиняли мухи 6 видов. *Musca domestica* L., *Muscina stabulans* Fll., *Fannia canicularis* L., *Calliphora vicina*, *Calliphora uralensis*, и *Sarcophaga carnaria*, относящихся к 5 родам из 4 семейств. Дезинсекцию

мух в помещении проводили в отсутствии животных при помощи ручного ранцевого опрыскивателя «Colorado», препаратом «Дельцид» в концентрации 0,04% и 0,25% для невпитывающих и впитывающих поверхностей из расчета 50 и 100 мл/м² раствором водной эмульсии соответственно. Обработывали внутренние стены, окна, входные ворота помещений. Одновременно проводили деларвацию мест выплода мух. Перед этим была определена численность личинок в субстрате, составляющая в среднем 197 особей/кг. Для обработки соломенной подстилки и мест скапливания навоза в телятнике использовали 0,06% (по ДВ) в.э. препарата «Дельцид» с нормой расхода 2 л/м. На следующий день после обработки обнаружено 29 живых личинок на кг субстрата. Таким образом, эффективность обработки составила 85,2%. В результате дезинсекции и деларвации проведенной в опытном помещении телятников предотвращено снижение мясной продуктивности, которая увеличилась на 16,5 %, по сравнению с продуктивностью телят контрольного помещения п. Ждановка.

Ключевые слова: мухи, молодняк крупного рогатого скота, ущерб, насекомые, дезинсекция, эффективность.

ECONOMIC EFFICIENCY OF DISINSECTION MEASURES AGAINST ZOOPHILIC FLIES IN LIVESTOCK FACILITIES IN THE KOSTANAY REGION

Shamgunov N.A*. – Master of Veterinary Sciences, Lecturer of the Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan.

Aubakirov M.Zh. – PhD, Associate Professor of the Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Yerenko Ye.N. – PhD, Associate Professor of the Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Sharipova A.A. – Master of Veterinary Sciences, Lecturer of the Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of the economic effectiveness of disinfestation and larvicidal treatment in young cattle facilities using the Delcid insecticide. To determine the economic impact, data on the productivity of young cattle before and after treatment against zoophilic flies was initially collected. It was established that on the territory and premises of the Abdibekov farm, animals were disturbed by six species of flies: *Musca domestica* L., *Muscina stabulans* Fll., *Fannia canicularis* L., *Calliphora vicina*, *Calliphora uralensis*, and *Sarcophaga carnaria*, belonging to five genera from four families. Fly control in the premises, in the absence of animals, was carried out using a Colorado hand-held backpack sprayer with Delcid at concentrations of 0.04% and 0.25%, applied to non-absorbent and absorbent surfaces at a rate of 50 and 100 ml/m² of aqueous emulsion. Interior walls, windows, and entrance gates were treated.

Simultaneously, fly breeding sites were treated. Prior to this, the substrate larval count was determined, reaching an average of 197 individuals/kg. Delcid was applied at a concentration of 0.06% (active substance) w.e. to treat the straw bedding and manure accumulation areas in the calf barn at a rate of 2 l/m². The day after treatment, 29 live larvae were detected per kg of substrate, indicating a treatment efficacy of 85.2%. Disinfestation and larvicidal treatment carried out in the experimental calf barns prevented a decline in meat productivity, increasing it by 16.5% compared to calf productivity in the control barn in the Zhdanovka village.

Keywords: flies, young cattle, damage, insects, disinfestation, effectiveness.

Кіріспе. Ірі қара мал басының көбейту және өндірілетін өнімнің өзіндік құнының төмендеуіне тек жем-шөп базасының қуатын арттыру арқылы ғана емес, сонымен қатар фермалар қора-жайларының ветеринариялық-санитариялық жай-күйін қатаң сақтау арқылы да қол жеткізуге болады. Мал фермаларында зиянды жәндіктердің, атап айтқанда зоофильді шыбындардың паразиттенуіне байланысты мал шаруашылығы өнімдерінің едәуір бөлігі жоғалады [1, 2006].

Мал шаруашылығы фермалары мен кешендерінің аумағында және қора – жайларда тіршілік ететін шыбындардың дернәсілдері көңде, сүрлемде, жем-шөп қалдықтарында, шіріп жатқан қоқыстар мен лас қалдықтарда дамиды. Ал жайылымдарда малдың нәжісінде дамиды. Мал басы көп шоғырланған жерлерде, яғни бордақылау алаңдары мен жайылымдарда шыбындардың зияндылығы айтарлық артады. Шыбындардың көбеюі органикалық текті әртүрлі субстраттарда жүреді. Бұған көптеген факторлар ықпал етеді: шыбындарды жануарлардың өздері, моножем, азық дайындауға арналған бөлмелер, сасыған сабан төсеніш сияқты факторлар қора-жайлардың ішінде шыбындардың көбеюіне әсер етеді. Мал шаруашылығы, меншік түріне қарамастан, жануарларды жұқпалы және инвазиялық аурулардан қорғау үшін бірқатар ветеринариялық-гигиеналық шараларды жүргізуді талап етеді [2, 446, 3, 11046].

Шыбындарға қарсы тиімді әрекет жүйесін ұйымдастыру тек мал шаруашылығы кешенінің аумағында санитариялық талаптарды қатаң сақтау арқылы ғана мүмкін болады [4, 146].

Мақаланың өзектілігі мал шаруашылығындағы зиянкес жәндіктермен күресу маңызды мәселе болып табылады. Жәндіктерді тиімді түрде үркіту және жою жануарлардың денсаулығын сақтау, аурулардың таралуын болдырмау және азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін шешуші рөл атқарады [5, 2376].

Эктопаразиттермен күрес профилактикалық және жоюға бағытталған дезинсекцияны үнемі қолдану арқылы жүзеге асырылуы керек. Буын аяқтылардың тіршілік етуіне қолайсыз жағдайлар жасау, олардың қора-жайларға енуіне және жануарларға шабуыл жасауына жол бермеу. Ірі қара мал өсіру кезінде жәндіктерден қорғалатын объектілер: ірі қара мал қоралары, бұзау қоралары, жазғы лагерьлер мен қоршаулар, сүт қабылдау және сауу залдары, профилакториялар мен төлдеу бөлмелері, қолдан ұрықтандыру пункттері және басқа да нысандар жатады [6, 496].

Осыған байланысты жануарларды жұқпалы және инвазиялық аурулардан қорғау бойынша бірқатар ветеринариялық-санитариялық іс-шаралар жүргізу қажеттілігі туындайды. Ветеринариялық дерек көздердің есебі бойынша жануарлар ауруларының ең көп пайызы паразиттік аурулардың әсерінен екенін растайды [7, 356].

Бірқатар авторлардың мәліметтері бойынша, зоофильді шыбындармен күресудің интеграциялық жүйесінде ұйымдастыру-шаруашылық шараларын, химиялық және биологиялық әдістерді үйлестіріп қолдану үлкен маңызға ие [3, 61107, 4, 612, 8, 6313].

Мал және құс шаруашылығында дезинсекция – қора жайларда қалыпты санитарлық жағдайды сақтау мақсатында жүргізілетін міндетті іс-шаралардың бірі. Жиі кездесетін жәндіктерге зоофильді шыбындар жатады, соның ішінде бөлме шыбыны *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) [2, 647, 8, 6313].

M.domestica популяциясының санын бақылаудағы ең кең таралған әдіс – инсектицидтермен беткейлерді өңдеу (шашу, бүрку) немесе қолдануға жеңіл уланған жемдерді пайдалану болып табылады. Бұл әдістердің қоршаған ортаға әсері салыстырмалы түрде төмен [5, 6329, 7, 640, 9, 68].

Маңызды артықшылығы – жәндіктердің инсектицидтерге төзімділігі мұндай әдістерді қолданғанда әсерлі препараттарға қарағанда баяу дамиды [10, 6105].

Тәжірибе жасап жүрген мамандардың бұл препараттарды қолдануы әртүрлі. Дезинсекция мен деларвация жүргізу мерзімдері бойынша бірыңғай сызбасы қазіргі уақытта жоқ. Сондай-ақ шаруашылықтарда препараттарды қолдану әдіс тәсіліне қатысты нақты ұсыныстар қалыптаспаған.

Мақсаты. Қостанай облысындағы мал шаруашылығы нысандарында зоофильді шыбындарға қарсы жүргізілетін дезинсекциялық шаралардың экономикалық тиімділігін анықтау.

Міндеттері:

- Ірі қара мал төлдері тұратын орындарда кездесетін зоофильді шыбындардың негізгі басым түрлерін анықтау;
- Шыбын дернәсілдерінің бұзау қораларында дамуын зерттеп, олардың шоғырланған жерлеріндегі орташа санын анықтау;
- Дезинсекциялық-профилактикалық іс-шараларды мал шаруашылығына жүргізіп, деларвацияның тиімділігін анықтау.

Материалдар мен әдістер

Энтомологиялық зерттеулер «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ-ның ауыл шаруашылығы ғылымдары факультетінің ветеринариялық медицина кафедрасында, энтомология мұражайында және Қостанай ауданының Ждановка ауылында орналасқан «Абдибеков» шаруа қожалығы аумағында 2025 жылдың мамыр-қазан айлары аралығында жүргізілді. Зерттеу жұмысы 30.11.2023 жылғы №127-Д бұйрықпен бекітілген «*Қостанай облысы жағдайында механизация құралдарын пайдалана отыры, ірі қара малды зоофильді шыбындардан қорғауға арналған инсектицидтердің тиімділігі*» тақырыбындағы PhD докторлық диссертациясының міндеттеріне сәйкес орындалды.

Зоофильді шыбындарға қарсы жүргізілген дезинсекциялық іс-шаралардың экономикалық тиімділігін анықтау үшін 2–3 айлық ірі қара мал төлдері ұсталатын екі қоражай іріктеліп алынды: тәжірибелік және бақылау топтары. Тәжірибелік топтағы 10 бас бұзау Қостанай ауданы аумағындағы «Абдибеков» шаруа қожалығында орналастырылды. Ал 10 бас бұзауы бар бақылау тобы тәжірибелік қоражайдан 7 км қашықтықта орналасқан Ждановка ауылында ұсталды. Барлық жануарлар ұқсастық қағидаты бойынша, яғни жасы, салмағы және тұқымы ескеріле отырып таңдап алынды. Осы мақсатта 2025 жылғы 24–25 маусым аралығында тәжірибелік қоражайда қолдану жөніндегі нұсқаулыққа сәйкес «Дельцид» инсектоакарицидті препаратымен дезинсекция жүргізілді, сондай-ақ шыбындардың өсіп-өну орындарында «Циперил» препаратымен деларвация жасалды.

Қора-жайда жануарлар жоқ кезде шыбындарға қарсы дезинсекция «Collorodo» маркалы қолдық аспалы бүріккіштің көмегімен жүргізілді. Өңдеу үшін «Дельцид» препаратының 0,04% және 0,25% концентрациядағы сулы эмульсиясы қолданылды. Препарат сіңірмейтін және сіңіретін беткейлерге сәйкесінше 50 мл/м² және 100 мл/м² есебімен шашылды.

Шыбындардың санын анықтау үшін бұзау қорасында еденнен 1,5–2 метр биіктікте «Partizan» желім таспалары орналастырылды. Әр есептік нүктеде 4 таспадан ілініп, сол арқылы 1 м² бетке шаққандағы шыбындардың орташа саны есептелді. Зоофильді шыбындардың түрлік құрамын анықтау МБС-10 микроскопы және арнайы анықтағыштар көмегімен жүргізілді [10, 6112-115, 11, 6 274-298].

Үш күн бойы жәндіктердің имаго және дернәсілдерінің саны дезинсекция жүргізілгенге дейін және одан кейін олардың саны қора жайларда толық қалпына келгенге дейін есепке алынды. В.Н. Беклемешевтің әдістемесі бойынша басымдылық индексі (БИ – шыбындардың белгілі бір түрінің пайыздық үлесі); кездесу индексі (КИ – қаралған сынамалардағы белгілі бір түр санының анықталу дәрежесі) зоофильді шыбындардың зияндылық деңгейін талдау үшін пайдаланылды.

Өңдеу жұмыстары SOLO 416 маркалы моторлы аспалы бүріккіштің көмегімен шыбындардың дернәсілдері дамитын орындарға (бұзау қорасындағы сабанды төсеніштерге және қора сыртындағы көң жиналған жерлерге) деларвация жүргізілді. Қора ішіндегі төсенішті деларвациялау үшін «Дельцид» препаратының әсер етуші зат бойынша 0,025% сулы эмульсиясы қолданылып, 1 л/м мөлшерінде жұмсалды. Ал көңді өңдеу кезінде жұмысшы эмульсия 2 л/м мөлшерінде пайдаланылды.

Үй жануарларының нәжістерін және жем қалдықтарын тексеру арқылы шыбындардың (жұмыртқалары, дернәсілдері және қуыршақтары) түрлері Б.М. Мамаевтың «Определитель насекомых по личинкам» аты оқу-әдістемелік құралын пайдалана отырып анықталды. Субстраттардан дернәсілдер мен қуыршақтарды ас тұзы ерітіндісіне батыру арқылы бөлініп алынды [12, 6281-297].

Шыбындардың орташа санын есептеу бойынша статистикалық өңдеу «Microsoft Excel» бағдарламасында жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері. Зерттеу нәтижесінде 4 тұқымдасқа, 5 туысқа жататын зоофильді шыбындардың басым 6 түрі анықталды.

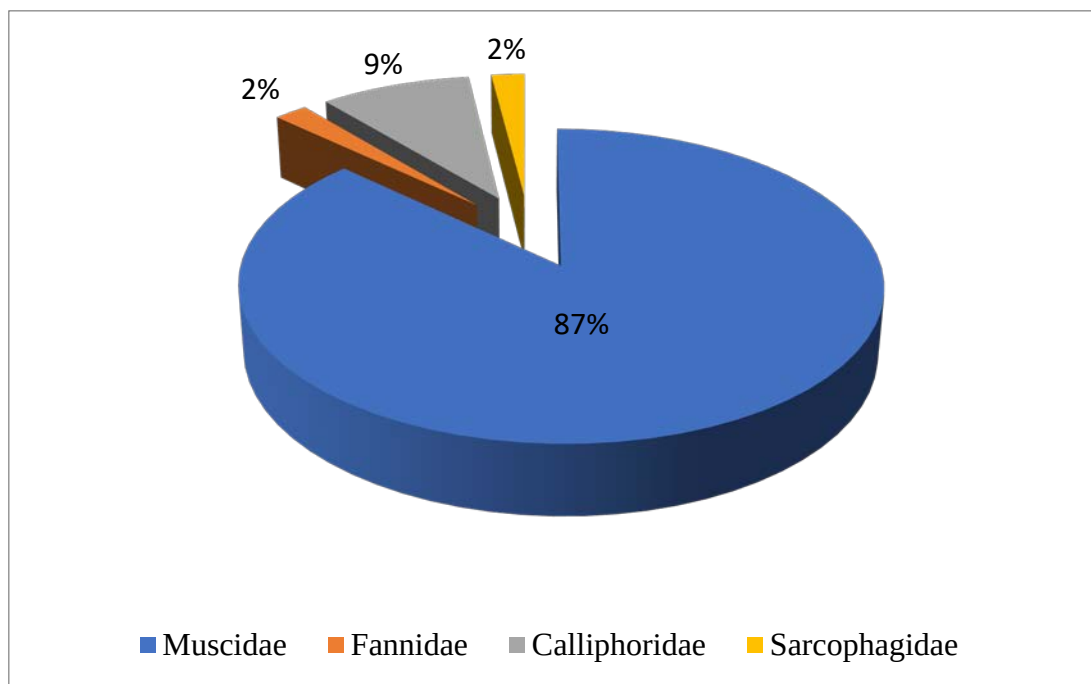
Түрлердің әртүрлілігі бойынша да, даралар саны бойынша да ең көп Muscidae (2 түр), Calliphoridae (2 түр), Fanniidae (1 түр) және Sarcophagidae (1 түр) тұқымдастарына жататын зоофильді шыбындар басым болды. Бұл мәліметтер 1-кестеде көрсетілген.

1 кесте – Қора-жайлардағы зоофильді шыбындардың түрлік әртүрлілігі

Тұқымдастар мен түрлердің атауы	Имаго саны	Басымдылық индексі, %
<i>I. Muscidae</i>	686	87
1. <i>Musca domestica</i> L.	521	66
2. <i>Muscina stabulans</i> Fll.	166	21
<i>II. Fanniidae</i>	16	2,0
1. <i>Fannia canicularis</i> L.	16	2,0
<i>III. Calliphoridae</i>	71	9,0
1. <i>Calliphora vicina</i>	47	6,0
2. <i>Calliphora uralensis</i>	24	3,0
<i>IV. Sarcophagidae</i>	16	2,0
1. <i>Sarcophaga carnaria</i>	16	2,0
Барлығы:	789	100

1 кесте мәліметтері бойынша ірі қара мал төлдерін ұстауға арналған қора-жайларда (тәжірибелік және бақылау топтары) шыбындардың 6 түрі ең көп таралғаны анықталды: *Musca domestica* L., *Muscina stabulans* Fll., *Fannia canicularis* L., *Calliphora vicina*, *Calliphora uralensis* және *Sarcophaga carnaria*.

Түрлік құрамы бойынша Muscidae (2 түр) және Calliphoridae (2 түр) тұқымдастарына жататын өкілдер басым болды. Бұл көрсеткіштер 1-диаграммада көрсетілген.



1 Диаграмма – Қора-жайлардағы зоофильді шыбындардың басымдылық индексі (%)

1-Диаграммада мәліметтері бойынша *Muscidae* тұқымдасына жататын шыбындардың басымдылығы индексі (БИ) 87,0% құрады. Олардың ішінде ең көп таралған түр *Musca domestica* (БИ – 66%), ал субдоминантты түр *Muscina stabulans* (БИ – 21%) болды. Маңыздылығы бойынша екінші орында *Calliphoridae* тұқымдасына жататын шыбындар болды, олардың орташа басымдылық индексі 9,0% құрады. Бұл тұқымдаста басым түр *Calliphora vicina* (БИ – 6,0%), ал субдоминантты түр *Calliphora uralensis* (БИ – 3,0%) болып анықталды. Ал зоофильді шыбындардың саны аз топтарына *Fanniidae* (1 түр) және *Sarcophagidae* (1 түр) тұқымдастарының өкілдері жатты. Бұл тұқымдастардың басымдылық индексі сәйкесінше 2% құрады.

Ірі қара мал төлдерін ұстауға арналған қора жайларды тексеру барысында бұзау қорасындағы шыбын дернәсілдерінің өсіп-өну орындары анықталды.

Зерттеу нәтижесінде қоражайларда шыбындардың дамуы мен қоректенуінің негізгі орындары ретінде науадағы және оның астындағы көң, жем қалдықтары, астаулар мен жем тарататын арбалар белгіленді. Ал қора аумағында шыбындардың негізгі даму орындары көң астындағы топырақта, көңнің өзінде және серуендету алаңдарының топырағында орналасатыны анықталды.

Бұзау қорасында дернәсілдердің негізгі бөлігі торлардың айналасындағы сабанды төсеніште шоғырланғаны анықталды. Жануарлардың үнемі қозғалысы нәтижесінде тығыздалған төсеніште шыбын дернәсілдерінің саны механикалық әсерге ұшырамаған субстратқа қарағанда аз болды.

2 кесте – Қора-жайлардағы әртүрлі субстраттың 1 кг-дағы шыбын дернәсілдерінің саны

Бұзау қорасы	Сынамалар саны	Субстрат атауы	Деларвацияға дейінгі саны (маусым)	Деларвациядан кейінгі саны (тамыз)	Жалпы саны
№1 Қоражай (тәжірибелік)	20	Көң астындағы топырақ, көң сұйықтығымен сіңген төсеніш	197	29	226
№ 2 қоражай (бақылау) (деларвация жүргізілген жоқ)	20	Көң астындағы топырақ, көң сұйықтығымен сіңген төсеніш	215	198	413
Барлығы:	40		412	227	639

Анықталғандай, бұзау қорасынан алынған 20 сынамада деларвацияға дейін 1 кг субстраттағы шыбын дернәсілдерінің жалпы саны 226 болды, оның ішінде 197 дана маусым айында тіркелді. Деларвация жүргізілгеннен кейін (тамыз айында) бұзау қорасындағы субстраттан 29 тірі дана ғана анықталды. Ал бақылау қора-жайында деларвация жүргізілген жоқ барлығы 413 дернәсіл есепке алынды, оның ішінде 215 дана маусым айында, ал 198 дана тамыз айында тіркелді.

Осылайша, тәжірибелік қора жайдағы бұзау қорасында жүргізілген деларвацияның тиімділігі 85,2 % құрады. Біздің таңдаған дельцид препаратын қолдану режимінде шыбындардың имаго және дернәсілдерінің саны бастапқы деңгейдің 30%-на дейін шамамен 20 тәулік ішінде қалпына келгені анықталды. Шыбындардың имаго санының толық қалпына келуі 30-тәулікте, ал дернәсілдерінің толық қалпына келуі 21-тәулікте байқалды.

Тәжірибелік және бақылау топтарындағы ірі қара мал төлдерінің экономикалық тиімділігін салыстыру мақсатында дезинсекция және деларвация жүргізілгеннен кейін бұзаулар қайта өлшеніп, олардың тізімі мен сәйкестендіру нөмірлері жасалды. 3-кестеде дезинсекциялық және ларвицидтік іс-шаралардың экономикалық тиімділігін есептеу нәтижелері олардың жоғары рентабельділігін көрсетті.

3 кесте – Қора-жайда шыбындарға қарсы жүргізілген дезинсекция және деларвацияның бастапқы деректері, өзіндік құны және экономикалық тиімділігі

Көрсеткіштер	Өлшем бірлігі	Көрсеткіштердің мәні
Көрсеткіштер	дана	2
Қоражайлар саны	баб	10
Тәжірибелік қора-жайдағы жануарлар саны	баб	10
Бақылау қора-жайындағы жануарлар саны	рет	1
Өңдеу саны	сағат	1
Дезинсекцияға жұмсалған уақыт	сағат	1
Деларвацияға жұмсалған уақыт	л	5
Дезинсекцияға жұмсалған препарат мөлшері	л	10
Бұзау қорасын деларвациялауға жұмсалған препарат мөлшері	л	20

3-кестенің жалғасы

Көң сақтау орнын деларвациялауға жұмсалған препарат мөлшері	л	35
Барлығы жұмсалған препарат мөлшері	теңге	3500
Препараттың 1 литрінің құны	теңге	122500
Жұмсалған препараттың құны	теңге	14
«Collorado» қолдық аспалы бүріккіші	теңге	99
SOLO 416 моторлы аспалы бүріккіші	теңге	122613
Іс-шаралардың жалпы құны	грамм	900
Тәжірибелік топтағы бұзаулардың орташа тәуліктік салмақ қосуы	грамм	700
Бақылау топтағы бұзаулардың орташа тәуліктік салмақ қосуы	кг	60
30 күндегі қосымша салмақ қосу	кг	20
10 күндегі қосымша салмақ қосу	теңге	3900
1 кг тірі салмақтың құны	теңге	234000
Қосымша алынған өнімнің құны	теңге	111387
Экономикалық тиімділік	теңге	1,91

3-кесте мәліметтеріне сәйкес, шыбындардың санының азаюы нәтижесінде тәжірибелік топтағы бұзаулардың орташа тәуліктік салмақ қосуы 900 г, ал бақылау тобында 700 г құрады. 30 күн ішінде жануарлар тобы бойынша қосымша салмақ қосу 60 кг болды. 1 кг тірі салмақтың құны 3900 теңге болған жағдайда қосымша алынған өнімнің жалпы құны 234 000 теңгені құрады.

Жүргізілген іс-шаралардың экономикалық тиімділігі 111 387 теңге болды, ал рентабельділік 1 теңге шығынға 1,91 теңге деңгейінде анықталды. Бұл көрсеткіштер инсектицидтік өңдеулерді қолданудың экономикалық тұрғыдан тиімді екенін дәлелдейді.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер Ждановка ауылында орналасқан «Абдибеков» шаруа қожалығының аумағы мен қора-жайларында жануарларға ең көп қолайсыздық тудыратын шыбындардың 6 түрі анықталғанын көрсетті. Олар 4 тұқымдасқа және 5 туысқа жататын түрлер: *Musca domestica* L., *Muscina stabulans* Fll., *Fannia canicularis* L., *Calliphora vicina*, *Calliphora uralensis* және *Sarcophaga carnaria*.

Субстраттың шыбын дернәсілдерімен ластану деңгейі анықталып, олардың орташа саны 197 дана/кг-ға дейін жеткені белгіленді. Бұзау қорасындағы сабанды төсеніштер мен көң жиналатын орындарды өңдеу үшін әсер етуші зат бойынша 0,06% концентрациядағы «Дельцид» препаратының сулы эмульсиясы 2 л/м мөлшерінде қолданылды. Өңдеуден кейінгі келесі күні субстраттың 1 кг-нан 29 тірі дернәсіл анықталды. Осылайша өңдеу тиімділігі 85,2% құрады.

Жүргізілген зерттеулер ірі қара мал төлдерін ұстауға арналған қора-жайларда зоофильді шыбындарға қарсы кешенді дезинсекциялық және деларвациялық іс-шаралардың жоғары тиімділігін көрсетті. Өңдеу нәтижесінде шыбындардың имаго және дернәсілдерінің саны едәуір азайып, бұл жануарлардың өнімділігіне оң әсерін тигізді. Тәжірибелік топта бұзаулардың орташа тәуліктік салмақ қосуы бақылау тобымен салыстырғанда 200 г-ға жоғары болды, ал 30 күн ішінде қосымша тірі салмақ өсімі топ бойынша 60 кг құрады.

Жүргізілген іс-шаралардың экономикалық тиімділігі 111 387 теңгені, ал рентабельділік 1 теңге шығынға 1,91 теңгені құрады. Бұл Қостанай облысы жағдайында инсектицидтік және акарицидтік өңдеулерді қолданудың экономикалық тұрғыдан тиімді екенін көрсетеді.

Дезинсекция және деларвация жүргізілген тәжірибелік бұзау қорасында ет өнімділігінің төмендеуінің алдын алу қамтамасыз етіліп, бұзаулардың өнімділігі Ждановка ауылындағы бақылау қорасымен салыстырғанда 16,5 %-ға жоғарылағаны анықталды.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Taylor D.B, Moon R.D, Mark D.R. Economic impact of stable flies (Diptera: Muscidae) on dairy and beef cattle production [Text] / D.B. Taylor, R.D. Moon, D.R. Mark // J Med Entomol. – 2012. -49(1) – P.198-209. DOI:10.1603/me10050. PMID: 22308789.
2. Aubakirov M.Zh., Erenko E.N., Shamgunov N.A., Sapa V.A., Shaimagambetova A.A., Kaumenov N.S. Species Diversity and Prevalence of Zoophilic Flies in Kostanay Region (Northern Kazakhstan) [Text] // Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University: Veterinary Sciences. – Astana: S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University. – 2024. – №1(005). – P. 44-49.
3. Челси Д.М., Джонатан А.К., Джеффри К.Т., Крупномасштабное производство личинок домашней мухи *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), питающихся тремя типами навоза [Текст] // Журнал экономической энтомологии. – 2023. – том 116, выпуск 4. – с.1102–1109, <https://doi.org/10.1093/jee/toad099>.

4. Ятусевич, А.И. Рекомендации по борьбе с зоофильными мухами в птицеводстве: рекомендации [Текст] / А. И. Ятусевич, Е. В. Миклашевская. // Витебск: ВГАВМ. – 2017. – 16 б.
5. Lehrner, P.S.H. Integrated pest management of insects in livestock facilities [Text] // Annals of the Entomological Society of America. – 2019. – 112(4). – p.326–340.
6. Аубакиров М.Ж. Сезонная и суточная динамика активности и численности зоофильных мух на животноводческих объектах Костанайской области [Текст] // Наука и образование. – 2025. – т.5. – выпуск 2(79). 48–57- б.
7. Абрамов В.Е. Теоретическое обоснование создания новых препаратных форм албендазола и клонантела для борьбы с эндо- и эктопаразитами с/х животных [Текст] / Вет. ғылымдар докторы диссертациясының авторефераты. – Б-Пб., 2000. – 46 б.
8. Cook D. A Historical Review of Management Options Used against the Stable Fly (Diptera: Muscidae) [Text] // Insects. – 2020. – 15;11(5) – article 313. doi: 10.3390/insects11050313.
9. Байжүніс М.Ж. Оңтүстік-Шығыс Қазақстанның Нағыз шыбындары (Diptera, Muscidae) [Текст] // ӘОЖ – 2023. – №2 – 595.79 (574) – б. 5-12.
10. Levchenko M.A., Silivanova E.A. Stomoxys calcitrans (diptera: muscidae): means and methods of control. Review [Text] / M.A. Levchenko, E. A. Silivanova // Russian Journal of Parasitology – 2020. – pp. 103-113.
11. Adler P.H., Crosskey R. W. World black flies (Diptera: Simuliidae): a fully revised edition of the taxonomic and geographical inventory [Text] // London: The Natural History Museum. – 2018. – 134p.
12. Мамаев Б. М. Определитель насекомых по личинкам [Текст] / Б.М.Мамаев. – Москва: Просвещение. – 1972. – 273-304 б.

REFERENCES:

1. Taylor D.B., Moon R.D., Mark D.R.. Economic impact of stable flies (Diptera: Muscidae) on dairy and beef cattle production. *Med Entomol*, 2012, vol. 49(1), pp.198-209. DOI: 10.1603/me10050. PMID: 22308789.
2. Aubakirov M.Zh., Erenko E.N., Shamgunov N.A., et. al. Species Diversity and Prevalence of Zoophilic Flies in Kostanay Region (Northern Kazakhstan). *Herald of Science of S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University: Veterinary Sciences*. Astana, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, 2024, vol.1(005), pp. 44-49.
3. Chelsea D.M., Jonathan A.C., Jeffery K.T. Krupnomasshtabnoe proizvodstvo lichinok domashnej muhi *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), pitayushhihsya tremya tipami navoza [Large-scale production of house fly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), larvae fed 3 manure types]. *Zhurnal e'konomicheskoy e'ntomologii*, 2023, vol. 4, iss.116, pp. 1102–1109. (In Russian)
4. Yatusevich A.I., Miklashevskaya E.V. Rekomendacii po bor'be s zoofil'ny'mi muhami v pticevodstve: rekomendacii [Recommendations for the control of zoophilic flies in poultry farming]. Vitebsk, VGAVM, 2017, 16 p. (In Russian)
5. Lehrner P.S.H.. Integrated pest management of insects in livestock facilities. *Annals of the Entomological Society of America*, 2019, vol.112(4), pp. 326–340.
6. Aubakirov M.Zh. Sezonnaya i sutochnaya dinamika aktivnosti i chislennosti zoofil'ny'h muh na zhiivotnovodcheskih ob'ektah Kostanajskoj oblasti [Seasonal and daily dynamics of activity and numbers of zoophilic flies in livestock facilities of the Kostanay region]. *Nauka i obrazovanie*, 2025, vol. 2(79), pp. 48-57. (In Russian)
7. Abramov V.E. Teoreticheskoe obosnovanie sozdaniya novy'h preparatny'h form albendazola i klonantela dlya bor'by s e'ndo- i e'ktoparazitami s/h zhiivotny'h [Theoretical justification for the creation of new dosage forms of albendazole and closantel for the control of endoparasites and ectoparasites of livestock]. Abstract of PhD thesis, B.-PB., 2000, 46 p. (In Russian)
8. Cook D.A. Historical review of management options used against the stable fly (Diptera: Muscidae). *Insects*, 2020, vol.11(5), art. 313. DOI: 10.3390/insects11050313.
9. Bajzhunis M.Zh. Ontustik-Shygys Kazakstannyn Nagyz shybyndary (Diptera, Muscidae) [Southern-Shygys Kazakhstani Nagyz shybyndary (Diptera, Muscidae)]. *AOZh*, 2023, vol.2, 595.79(574), pp. 5-12. (In Kazakh)
10. Levchenko M.A., Silivanova E.A. Stomoxys calcitrans (diptera: muscidae): means and methods of control. Overview. *Russian Journal of Parasitology*, 2020. pp.103-113.
11. P Adler.H., Crosskey R.W., World black flies (Diptera: Simuliidae): a fully revised edition of the taxonomic and geographical inventory. The Natural History Museum, London, 2018, 134 p.
12. Mamaev B.M. Opredelitel' nasekomy'h po lichinkam [Insect identification guide by larvae]. *Prosveshhenie*, 1972, pp, 273-304. (In Russian)

Авторлар туралы мәліметтер:

Шамеуов Нұрсұлтан Айтбайұлы* – ветеринария ғылымдарының магистрі, ветеринарлық медицина кафедрасының PhD докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік

университеті» КЕАҚ, 110000, Қостанай қ., Маяковский көш 99/1, тел.: 87765999595, e-mail: Nur_01.95@mail.ru.

Аубакиров Марат Жаксылыкович – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасы қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Маяковский көш, 99/1, тел.: 87075504438, e-mail: aubakirov_m66@mail.ru.

Еренко Евгения Николаевна – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасы қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Маяковский көш, 99/1, тел.: 87477646244, e-mail: jenecka0712@mail.ru.

Шарипова Айгерим Аманбайқызы – ветеринария ғылымдарының магистрі, ветеринарлық медицина кафедрасының PhD докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, 110000, Қостанай қ., Маяковский көш 99/1, тел.: 87764917295, e-mail: aigerimakt@mail.ru.

Шамғунов Нурсултан Айтбайлы* – магистр ветеринарных наук, PhD докторант, кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, ул. Маяковского 99/1, тел.: 87765999595, e-mail: Nur_01.95@mail.ru.

Аубакиров Марат Жаксылыкович – PhD, ассоциированный профессор кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Маяковского 99/1, тел.: 87075504438, e-mail: aubakirov_m66@mail.ru.

Еренко Евгения Николаевна – PhD, ассоциированный профессор кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Маяковского 99/1, тел.: 87477646244, e-mail: jenecka0712@mail.ru.

Шарипова Айгерим Аманбайқызы – магистр ветеринарных наук, PhD докторант, кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, ул. Маяковского 99/1, тел.: 87764917295, e-mail: aigerimakt@mail.ru.

Shamgunov Nursultan Aitbayuly* – Master of Veterinary Sciences, PhD student of the Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., tel.: 87765999595, e-mail: Nur_01.95@mail.ru.

Aubakirov Marat Zhaksylykovich – PhD, Associate Professor of the Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., tel.: 87075504438, e-mail: aubakirov_m66@mail.ru.

Yerenko Yevgeniya Nikolayevna – PhD, Associate Professor of the Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., tel.: 87477646244, e-mail: jenecka0712@mail.ru.

Sharipova Aigerim Amanbaykyzy – Master of Veterinary Sciences, PhD student of the Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str., tel.: 87764917295, e-mail: aigerimakt@mail.ru.

МРНТИ 68.41.33

УДК 619:616.61-008.64:636.8

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621074>

ТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОГЕСТЕРОНА В СХЕМАХ ЛЕЧЕНИЯ ОВАРИАЛЬНЫХ ДИСФУНКЦИЙ У КОРОВ

Янич Т.В.* – кандидат ветеринарных наук, доктор PhD, научный сотрудник, НАО «Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Папуша Н.В. – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры продовольственной безопасности и биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Хасанова М.А. – PhD, ассоциированный профессор (доцент) кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Дерхо М.А. – доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Российская Федерация, Троицк.

Дано сравнение терапевтической эффективности двух комплексных схем синхронизации половой охоты у коров при лечении фолликулярно-кистозной болезни яичников, включающих прогестеронсодержащие препараты, повышающие уровень фертильности животных. Установлено, что при парентеральном введении гормона в виде препарата Прогестемаг концентрация прогестерона в крови коров повышается по сравнению с уровнем до гормонотерапии. Максимум циркулирующего гормона регистрируется на 4-е сутки протокола синхронизации. Половая охота выявляется у 70% животных, беременность – у 55%. При использовании общепринятой схемы гормональной синхронизации в условиях ТОО «Сарыағаш» по протоколу Ovsynch концентрация прогестерона в крови, по сравнению с уровнем до гормонотерапии, значительно ниже. Вместе с тем, применение в схеме лечения «прогестеронового блока» обеспечивает поступление гормона в кровоток с однотипной скоростью, способствуя формированию эстрального поведения. Половая охота выявляется у 50% животных, стельность – у 30%. Прогестероновый модуль в виде инъекционного препарата Прогестемаг обладает более высокой терапевтической эффективностью по сравнению со стандартной схемой: различия в инициации половой охоты составляют 20%, а в наступлении беременности – 25%. В эксперименте участвовало 10 коров, поэтому исследование можно считать пилотным.

Ключевые слова: фолликулярно-кистозная болезнь яичников, коровы, прогестероновый модуль, гормонотерапия.

СЫЫРЛАРДАҒЫ АНАЛЫҚ БЕЗДЕРДІҢ ДИСФУНКЦИЯСЫН ЕМДЕУ РЕЖИМДЕРІНДЕГІ ПРОГЕСТЕРОННЫҢ ЕМДІК ТИІМДІЛІГІ

Янич Т.В.* – ветеринария ғылымдарының кандидаты, PhD докторы, ғылыми қызметкер, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Папуша Н.В. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Хасанова М.А. – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Дерхо М.А. – биология ғылымдарының докторы, профессор, Оңтүстік Орал мемлекеттік аграрлық университеті, Троицк қ., Ресей Федерациясы.

Аналық бездің фолликулярлық кистоздық ауруын (ФКД) емдеуге арналған сиырлардағы екі күрделі эструс синхрондау режимінің терапевтік тиімділігін салыстыру ұсынылған. Бұл режимдерге прогестерон бар препараттар кіреді, олар осы терапияға негізделген жануарлардың құнарлылығын арттырады. Прогестемаг түріндегі гормонды парентеральді енгізу гормоналды терапияға дейінгі деңгейлермен салыстырғанда қандағы прогестерон концентрациясын жоғарылататыны анықталды. Айналымдағы гормонның ең жоғары деңгейі синхрондау хаттамасының төртінші күні жазылады. Эструс топтағы жануарлардың 70% -ында, ал жүктілік 55% -ында анықталады. «Сарыағаш» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінде «Овсинч» хаттамасы сияқты әдеттегі гормоналды синхрондау хаттамаларын қолдану гормоналды терапияға дейінгімен салыстырғанда сиырлардағы қандағы гормон деңгейін айтарлықтай төмендетеді. Сонымен қатар, емдеу режимінде «прогестерон блоктарын» пайдалану гормонның қанға біркелкі түсуін қамтамасыз етеді, эстроздық мінез-құлықтың дамуын жеңілдетеді. Ovsynch терапиясымен топтағы жануарлардың 50% -ында эструс, ал 30% -ында жүктілік анықталады. Прогестемаг деп аталатын инъекциялық препарат түріндегі прогестерон модулі стандартты режимге қарағанда жоғары терапевтік тиімділікке ие, жылуды бастауда 20% және жүктілік жиілігінде 25% айырмашылық бар. «Сарыағаш» жауапкершілігі шектеулі серіктестігі «прогестерон модулін» қолданатын синхрондау режимін ешқашан пайдаланбаған, бұл эструсты реттеудің екі протоколымен салыстырғанда әлдеқайда аз. Экспериментке қатысатын жануарлардың саны 10, өйткені бұл сынақты пилоттық зерттеу деп санауға болады.

Түйінді сөздер: аналық бездің фолликулярлы-кистозды ауруы, сиыр, прогестерон модуль, гормондық терапия.

THERAPEUTIC EFFECTIVENESS OF PROGESTERONE IN TREATMENT OF OVARIAN DYSFUNCTIONS IN COWS

Yanich T.V.* – Candidate of Veterinary Sciences, PhD, Researcher, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Papusha N.V. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of food safety and biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Khassanova M.A. – PhD, Associate Professor, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Derkho M.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, FSBEI HE “South Ural State Agrarian University”, Troitsk, Russian Federation.

A comparison of the therapeutic efficacy of two complex estrus synchronization regimens in cows for the treatment of follicular cystic ovarian disease (FCD) is presented. Both regimens include progesterone-containing drugs that improve fertility in treated animals. It was found that parenteral administration of progesterone in the form of Progestamag increases blood progesterone concentrations compared to pre-treatment levels. The peak circulating hormone concentration is recorded on the fourth day of the synchronization protocol. Estrus is detected in 70% of animals, and pregnancy is achieved in 55%. The use of conventional hormonal synchronization protocols at Saryagash LLP, such as Ovsynch, results in lower progesterone concentrations and reduced reproductive performance. The inclusion of a “progesterone block” ensures a more uniform release of the hormone into the bloodstream, promoting the development of estrous behavior. Under the Ovsynch protocol, estrus is detected in 50% of cows, while pregnancy is confirmed in 30%. The progesterone module, represented by the injectable drug Progestamag, demonstrated higher therapeutic efficacy than the standard regimen, with a 20% increase in estrus induction and a 25% increase in pregnancy rates. The study involved 10 animals and can therefore be considered a pilot trial.

Keywords: follicular-cystic ovarian disease, cows, progesterone module, hormone therapy.

Введение. Эффективное воспроизводство молочного скота включает системную работу по поддержке процессов размножения коров, предусматривающую получение одного теленка от каждой особи в течение календарного года. Соответственно, сервис-период не должен превышать 90 дней. Формирование такого уровня плодовитости коров возможно при условии циклического проявления половой охоты в пределах физиологического овуляторного цикла [1, с.163].

По данным [2, с.674] молочные коровы проявляют асимметричную репродуктивную функцию, что связано с особенностями функционирования яичников в зависимости от предыдущих родов. Поэтому возобновление регулярных эстральных циклов и субинволюция матки в послеродовой период имеют решающее значение для наступления новой беременности [1, с.165]. Кроме того, знания о физиологии яичников позволяют управлять воспроизводством крупного рогатого скота путем планирования синхронизации эструса и искусственного осеменения в определенное время [3, с.1004; 4, с.339].

Одной из основных причин снижения репродуктивной способности коров являются многочисленные метаболические и воспалительные заболевания в перинатальный или переходный период, который является «критическим» для их организма, так как сопровождается значительными эндокринными и физиологическими изменениями [5, с.339; 6, с.106; 7, с.107]. В качестве аномального репродуктивного явления также рассматривается образование кист яичников. Согласно сведениям [8, с.174; 9 с.1042] кисты являются результатом нарушения нормального механизма овуляции фолликулов. При этом ановуляторные фолликулярные структуры встречаются у 5–25% высокопродуктивных молочных коров [10, с.391; 11, с.1028]. Чаще всего кистозные поражения яичников у коров диагностируются в интервале 40–150 дней после отела [12, с.1409].

В современной ветеринарной практической медицине для лечения кистозных заболеваний яичников применяются различные терапевтические методы и подходы, основанные на использовании комплексов гормональных препаратов: гестагенов, гонадотропинов, гонадолиберинов и простагландинов [13, с.1984; 14, с.931; 15, с.1563]. Одним из основных компонентов схем лечения является прогестерон, применяемый интравагинально [16, с.331; 17, с.83] или парентерально [15, с.1564]. Рациональное применение, соблюдение схем и сроков лечения, как правило, обеспечивают ожидаемый результат [18, с.190].

Целью данного исследования является сравнение терапевтической эффективности двух комплексных схем синхронизации половой охоты у коров при лечении фолликулярно-кистозной болезни яичников: протокол Ovsynch, используемый в ТОО «Сарыагаш» на протяжении длительного времени; схема, основанная на вышеуказанном протоколе, но с использованием прогестеронсодержащих препаратов.

Задачи исследования:

1. Провести сравнительную оценку терапевтической эффективности двух схем лечения фолликулярно-кистозных заболеваний яичников у коров с применением прогестеронсодержащих препаратов и стандартную терапию Ovsynch.
2. Изучить влияние предложенных схем комплексной терапии на показатели фертильности подопытных животных.

Научная новизна исследования заключается в сравнительной оценке эффективности схемы синхронизации полового цикла Ovsynch и схемы с применением препарата «Прогестамаг» в условиях конкретного хозяйства. Впервые установлено, что используемая в хозяйстве схема Ovsynch характеризуется недостаточной эффективностью по показателям воспроизводства животных, тогда как применение схемы с «Прогестамагом» обеспечивает более выраженный синхронизирующий эффект и повышение результативности осеменения.

Материалы и методы исследования. Научно-производственный опыт был выполнен в условиях ТОО «Сарыагаш» (Республика Казахстан, Костанайская область). Одним из направлений специализации компании является молочное животноводство. Для повышения продуктивности породы крупного рогатого скота проводится голштинизация. На сегодняшний день доля крови голштинской породы у коров составляет 75–80%.

Молочный комплекс ТОО «Сарыагаш» является благополучным по инфекционным и паразитарным заболеваниям (бруцеллез, туберкулез, лейкоз, хламидиоз и др.). Ветеринарная служба, согласно календарному плану, ежегодно проводит профилактическую иммунизацию поголовья КРС против бешенства, эмкара, сибирской язвы, вирусной диареи, инфекционного ринотрахеита и парагриппа.

Содержание животных – беспривязно-боксовое, свободновыгульное, метод содержания – подстилочный. Кормление животных осуществляется с кормового стола, шириной 4 м. Подход к кормовому столу свободный. Рацион молочных животных включает в себя: силос кукурузный, сенаж и сено люцерновые, ячмень, шрот подсолнечный, соль. Навозоудаление осуществляется автоматизированными скреперными установками в навозоприемник.

Объектом исследования стали дойные коровы 2–3 лактации (3–4 года) с живой массой 550–600 кг, которые не приходили в охоту после отела или подвергались неоднократным бесплодным осеменениям. Среднесуточный удой составляет 22–24 литра. После сбора анамнестических данных (сервис-период более 90 дней или многократные бесплодные осеменения) для постановки окончательного диагноза проводились ректальная пальпация (*per rectum*) и ультразвуковая диагностика патологий гинекологического аппарата с помощью ветеринарного УЗИ-сканера ESG Lite Linear (Шотландия). По результатам гинекологической диспансеризации было выявлено: одиночные или множественные анэхогенные структуры диаметром более 25–30 мм (иногда до 60 мм и более), с тонкой стенкой и отсутствием признаков овуляции. Такие фолликулярные кисты сохраняются персистентно, как правило, более 10–12 дней, сопровождаясь нарушением нормального цикла и отсутствием функционального желтого тела. Соответственно, был поставлен диагноз фолликулярно-кистозная болезнь яичников. Данная патология послужила причиной бесплодных осеменений животных.

Для лечения репродуктивной патологии было принято решение использовать два проекта терапии: протокол Ovsynch и схема с «прогестероновым модулем», так как при фолликулярных кистах яичников возникает состояние стойкого дефицита этого гестагена. С этой целью были сформированы две группы коров (N=10). Данное количество животных обусловлено пилотным внедрением новой схемы в хозяйстве.

В схеме (протоколе) лечения 1 – без использования «прогестеронового модуля» (рис. 1) использовались нижеперечисленные препараты:

1. Сурфагон (Мосагроген, Россия) – ветеринарный препарат, содержащий гонадотропин-рилизинг-гормон люлиберин – декапептид гипоталамуса, обладающий способностью связываться с рецепторами гонадотрофов в гипофизе, регулируя высвобождение гонадотропина и, следовательно, секрецию стероидных гормонов из гонад [19, с.257]. Данный препарат ввели в схемы лечения для преодоления снижения фертильности коров из-за дисфункции яичников, индукции овуляции и улучшения частоты зачатия [20, с.691].

2. Галапан (Инвеса, Испания) – ветеринарный препарат, содержащий D-клопростенол (аунокциональная синтетическая альтернатива простагландина F2α со специфической лютеолитической активностью) [21, с.102]. Препарат введен в схемы лечения для стимуляции репродуктивной функции; усиления сократительной способности миометрия [22, с.93], создания условий для запуска физиологических процессов в репродуктивной системе на фоне снижения уровня прогестерона [21, с.104].

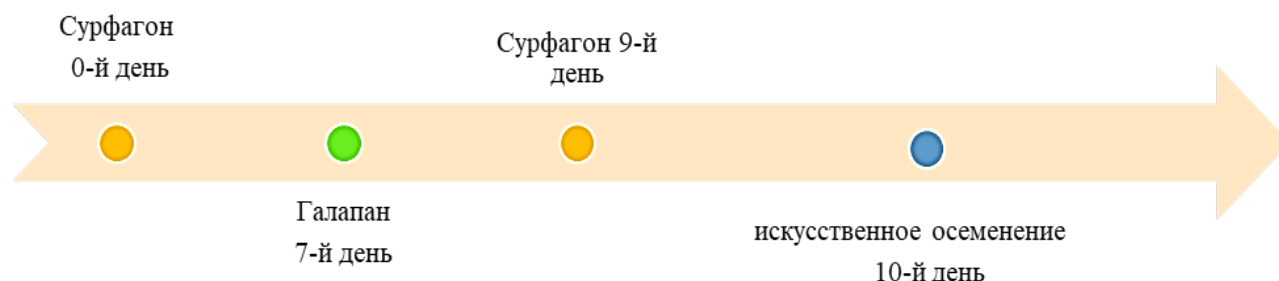


Рисунок 1 – Схема лечения дисфункции яичников у коров с использованием протокола Ovsynch

В таблице 1 отражены путь введения, кратность и доза применения препаратов.

Таблица 1 – Схема Ovsynch для лечения коров с фолликулярными кистами яичников

	Схема 1	Способ применения	Описание
	Сурфагон	Внутривенно, в дозе 10 мл	Гормональное средство, аналог гонадотропин-рилизинг гормона люлиберина. Стимулирует выброс гонадотропных гормонов гипофиза лютеинизирующего (ЛГ) и фолликулостимулирующего (ФСГ) в кровь с пиком через 2-3 часа после введения.
	Галапан	Внутримышечно, в дозе 5 мл	D-клопростенол функциональный аналог простагландина F2α с лютеолитической активностью. Его применение в лютеиновой фазе полового цикла вызывает регрессию желтого тела и создает условия для начала физиологических процессов.
	Коровы подвергались искусственному осеменению, двукратно с интервалом 48 часов		

Данные ветеринарные препараты использовались в 1 и 2 протоколе лечения, с разницей лишь в том, что в первой схеме нет «прогестеронового компонента», а во второй есть. Во втором протоколе лечения и синхронизации фолликулярно-кистозной болезни у коров (рис. 2) добавочным и перспективным препаратом является Прогестамат (Мосагрон, Россия), ингибирующим гипоталамо-гипофизарную систему и возможность выделения гонадотропных гормонов – фолликулостимулирующего и лютеинизирующего, влияющих на выделение и созревание фолликулов, их овуляцию. После завершения фармакологического действия Прогестамата происходит спонтанная секреция гонадотропных гормонов ФСГ и ЛГ, инициирующих созревание фолликулов и овуляцию, а также возможность оплодотворения. Введение лекарственного средства (прогестерона) осуществлялось парентерально.

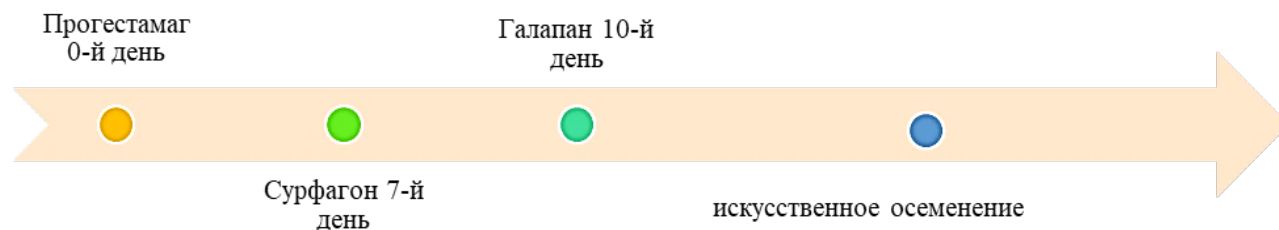


Рисунок 2 – Схема лечения дисфункции яичников у коров с использованием схемы с «прогестероновым модулем»

Способ применения ветеринарных препаратов, пути введения и кратность, а также краткое описание и механизм действия приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Схема лечения дисфункции яичников у коров с использованием «прогестеронового модуля»

	Схема 2	Способ применения	Описание
	Прогестамат	Внутримышечно, 10 мл	Гормональное средство, играющее важную роль в регуляции репродуктивного цикла, сохранении беременности, развитии молочных желез.
	Сурфагон	Внутривенно, в дозе 10 мл	Гормональное средство, аналог гонадотропин-рилизинг гормона люлиберина. Стимулирует выброс гонадотропных гормонов гипофиза лютеинизирующего (ЛГ) и фолликулостимулирующего (ФСГ) в кровь с пиком через 2-3 часа после введения.
	Галапан	Внутримышечно, в дозе 5 мл	D-клопростенол функциональный аналог простагландина F2α с лютеолитической активностью. Его применение в лютеиновой фазе полового цикла вызывает регрессию желтого тела и создает условия для начала физиологических процессов.
	При наличии половой охоты, коровы подвергались искусственному осеменению, двукратно с интервалом 48 часов		

Оценку эффективности схем лечения проводили по выявлению беременности. Для диагностирования беременности использовали метод УЗИ, выполняемый на 45-е сутки после искусственного осеменения.

Результаты исследования систематизированы при помощи пакета прикладной программы «Versia».

Результаты исследований. Основным диагностическим критерием при постановке диагноза фолликулярно-кистозная болезнь яичников служило отсутствие половой охоты более 90 дней после отела или безрезультатные осеменения. После трансректальной ультразвуковой диагностики яичники имели идентичные размеры, но на их поверхности при помощи пальпации (трансректально) и УЗИ-визуализации было определено наличие фолликулов от 6-8 мм при отсутствии желтого тела. Отбор животных в опытные группы проводился по результатам двукратного диагностического исследования, интервал между которыми составил 14 дней. Это служило основанием для исключения «скрытой» охоты и спонтанной овуляции.

После постановки диагноза сформировали две группы коров с диагнозом фолликулярно-кистозная болезнь яичников с целью восстановления репродуктивной функции. Оно было ориентировано на восстановление эстрального цикла за счет использования экзогенных соединений (прогестерон, гонадотропины), позволяющих имитировать в организме животных физиологический уровень гормонов.

При составлении схемы гормонотерапии ориентировались на повышении уровня фертильности коров. Длительность курса введения препаратов составила 10 дней. В течение следующих 7 дней за животными активно наблюдали для выявления половой охоты и проведения искусственного осеменения.

Эффективность и целесообразность использования в будущем, схем синхронизации и лечения ФКБЯ, показана на диаграмме (рис. 3,4).

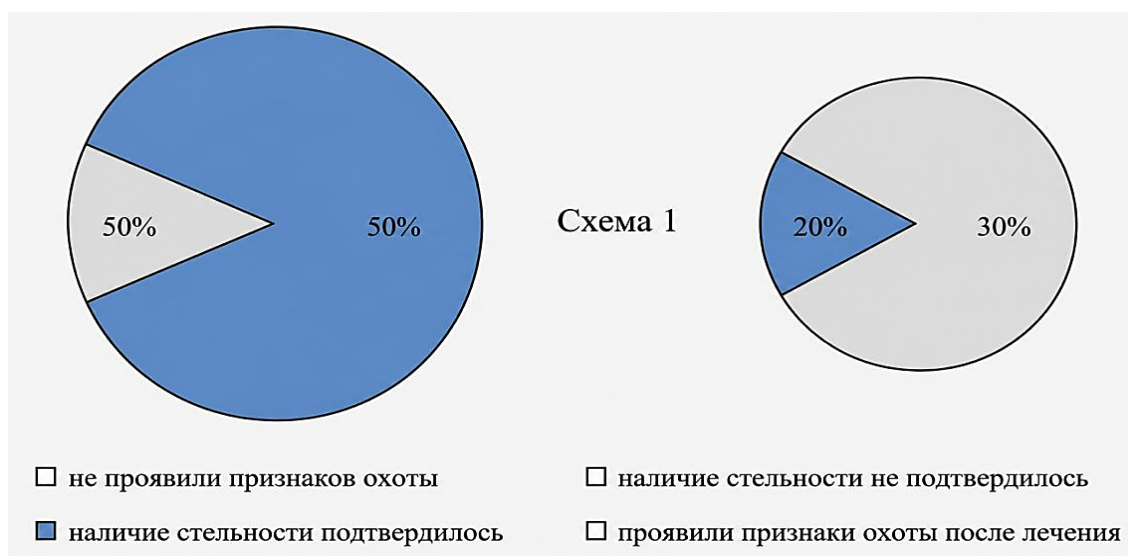


Рисунок 3 – Терапевтическая эффективность протокола лечения Ovsynch у коров первой группы

Исходя из диаграммы (рис.3) применение протокола синхронизации полового цикла Ovsynch сопровождалось подтверждением половой охоты у 50% коров, что свидетельствует о недостаточной эффективности используемой схемы в индукции овуляции и оптимизации сроков искусственного осеменения. У оставшейся части животных признаки половой охоты в установленные сроки не регистрировались, что может быть связано с индивидуальными особенностями гормонального статуса, наличием скрытых нарушений функции яичников либо недостаточной реакцией на применяемые гормональные препараты. При последующем ультразвуковом исследовании наличие стельности подтверждено у 30% животных, что является недостаточным для обеспечения высокой воспроизводительной эффективности в условиях промышленного молочного животноводства. Следует учитывать, что даже при наступлении оплодотворения существенное влияние на конечные показатели воспроизводства оказывает ранняя эмбриональная смертность, приводящая к снижению сохранности беременности на ранних сроках гестации. Данные обстоятельства указывают на необходимость дальнейшей оптимизации протоколов синхронизации овуляции.

Во второй группе с «прогестероновым модулем» (рис.4), по итогам проведенной программы половая охота наступила у 70% животных, что на 20% выше, чем при использовании протокола Ovsynch, но оставшиеся 30% требуют дополнительной диагностики и лечения. Полученные данные свидетельствуют о недостаточной эффективности применяемой схемы синхронизации у части животных (30%), что может быть связано с нарушением функционального состояния яичников, индивидуаль-

ными особенностями гормонального ответа. Показатель стельности на уровне 55% следует расценивать как оптимальный для условий промышленного молочного животноводства, поскольку он обеспечивает ремонт и репродукцию показателей стада, но и требует дальнейшей коррекции протокола синхронизации и мониторинга фертильного статуса животных.

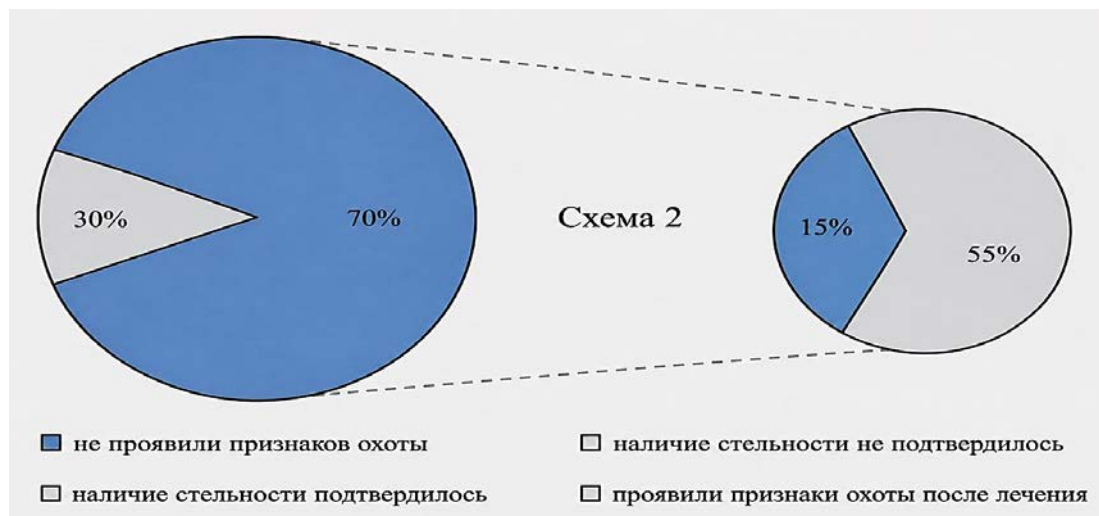


Рисунок 4 – Терапевтическая эффективность протокола лечения с «прогестероновым модулем» у коров второй группы

Следовательно, протокол гормонотерапии при ановуляторном состоянии коров, предусматривающий включение прогестеронового модуля парентерально, обладает более высокой эффективностью в инициации овариальной активности в их организме.

Закключение. На основании полученных результатов установлено, что применение схемы синхронизации овуляции Ovsynch обеспечивает более низкие показатели наступления стельности по сравнению с протоколами, включающими использование препаратов прогестерона. Вероятно, это связано с недостаточным контролем фолликулярной динамики и более высокой вариабельностью ответа животных на гормональную стимуляцию. Использование прогестеронсодержащих схем способствует более эффективной синхронизации полового цикла, улучшению условий для овуляции и последующего формирования полноценного желтого тела, что положительно отражается на показателях оплодотворяемости. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения протоколов с включением прогестерона для повышения репродуктивной эффективности молочного стада.

Таким образом, результаты лечения фолликулярно-кистозной болезни яичников коров при использовании схем терапии Ovsynch и протокола с «прогестероновым модулем» показали, что половая охота в первой группе выявляется у 50% особей в группе, а наличие стельности у 30%. Во второй группе с прогестероновым модулем, имеются существенные различия в инициации половой охоты – составляют 70%, наступлении беременности – 55%. Это позволяет рекомендовать данный протокол для включения в схемы синхронизации коров при фолликулярно-кистозной болезни яичников в условиях хозяйств ТОО «Сарыагаш».

Работа выполнена в рамках проекта финансируемого МСХ РК BR22886157 «Управление, сохранение и рациональное использование генетических ресурсов крупного рогатого скота молочных пород путем селекционно-технологических и молекулярно-генетических методов».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Forde N., Beltman M.E., Lonergan P., et al. Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle [Text] / N. Forde [and others] // Anim Reprod Sci. – 2011. – Vol. 124(3-4). – P. 163-169. doi: 10.1016/j.anireprosci. 2010.08.025.
2. Shahsavari M.H., Moghaddam G., Alves K.A. et al. How origin of ovaries influences the vitrification outcome of bovine ovarian tissue: effects of side of ovaries and corpus luteum [Text] / M.H. Shahsavari [and others] // Vet Res Forum. – 2023. – Vol. 14(12). – P.673-679. doi: 10.30466/vrf.2023. 1972637.3684.
3. Mapletoft R.J., Bó G.A., Baruselli P.S. et al. Evolution of knowledge on ovarian physiology and its contribution to the widespread application of reproductive biotechnologies in South American cattle [Text] / R.J. Mapletoft [and others] // Anim Reprod. – 2018. – Vol. 15(1). – P.1003-1014. doi: 10.21451/1984-3143-AR2018-0007.
4. Baruselli P.S., Abreu L.Â., Paula V.R. et al. Applying assisted reproductive technology and reproductive management to reduce CO₂-equivalent emission in dairy and beef cattle: a review [Text] / P.S. Baruselli [and others] // Anim Reprod. 2023. Vol. 20(2):e20230060. doi: 10.1590/1984-3143-AR2023-0060.

5. **Purba F.Y., Suzuki N., Isobe N. Association of endometritis and ovarian follicular cyst with mastitis in dairy cows** [Text] / F.Y. Purba [and others] // J Vet Med Sci. – 2021. – Vol. 83(2). – P. 338-343. doi: 10.1292/jvms.20-0652.
6. **Дерхо М.А., Середа Т.И., Крайнова Н.В. Биохимический статус коров при лютеиновых кистах яичников** [Текст] / М.А. Дерхо, Т.И. Середа, Н.В. Крайнова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (65). – С. 106-108.
7. **Середа Т.И., Дерхо М.А., Крайнова Н.В. Особенности гормон-метаболических связей в организме коров при лютеиновых кистах** [Текст] / Т.И. Середа, М.А. Дерхо, Н.В. Крайнова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (64). – С. 105-107.
8. **Isobe N. Follicular cysts in dairy cows** [Text] / N. Isobe // Animal Science Journal. – 2007. – Vol. 78. – P.1–6. doi: 10.1111/j.1740-0929.2006.00397.x.
9. **Stassi A., Etchevers L., Cainelli S. Ovarian leukocytes: Association with follicular persistence and cyst formation in dairy cows** [Text] / A. Stassi, L. Etchevers, S. Cainelli // J Reprod Immunol. – 2024. – Vol. 165. – P. 104289. doi: 10.1016/j.jri.2024.104289.
10. **Barański W., Nowicki A., Zduńczyk S. Effect of repeated low doses of GnRH on follicular development and ovulation in anovulatory dairy cows with follicle growth to emergence size** [Text] / W. Barański, A. Nowicki, S. Zduńczyk // Pol J Vet Sci. – 2022. – Vol. 25(3). – P.391-396. doi: 10.24425/pjvs.2022.142022.
11. **Cattaneo L., Signorini M.L., Bertoli J. Epidemiological description of cystic ovarian disease in argentine dairy herds: risk factors and effects on the reproductive performance of lactating cows** [Text] / L. Cattaneo, M.L. Signorini, J. Bertoli // Reprod Domest Anim. – 2014. – Vol. 49(6)1028-33. doi: 10.1111/rda.12432.
12. **Bartolome J.A., Thatcher W.W., Melendez P. Strategies for the diagnosis and treatment of ovarian cysts in dairy cattle** [Text] / J.A. Bartolome, W.W. Thatcher, P. Melendez // J Am Vet Med Assoc. – 2005. – Vol. 227(9). – P. 1409-1414. doi: 10.2460/javma.2005.227.1409.
13. **Bó G.A., Menchaca A. Prohibition of hormones in animal reproduction: what to expect and what to do?** [Text] / G.A. Bó, A. Menchaca // Anim Reprod. – 2023. Vol. – 20(2). e20230067. doi: 10.1590/1984-3143-AR2023-0067.
14. **Ambrose D.J., Schmitt E.J., Lopes F.L. Ovarian and endocrine responses associated with the treatment of cystic ovarian follicles in dairy cows with gonadotropin releasing hormone and prostaglandin F2alpha, with or without exogenous progesterone** [Text] / D.J. Ambrose, E.J. Schmitt, F.L. Lopes // Can Vet J. – 2004. – Vol. 45(11). – P. 931-937.
15. **Crane M.B. Comparison of synchronization of ovulation with timed insemination and exogenous progesterone as therapeutic strategies for ovarian cysts in lactating dairy cows** [Text] M.B. Crane, J. Bartolome, P. Melendez [et al.] // Theriogenology. – 2006. – Vol. 65(8). – P. 1563-1574. doi: 10.1016/j.theriogenology.2005.09.003.
16. **Gaebler E. Fate of follicular ovarian cysts in early postpartum dairy cows treated with PRID/PGF or PRID/PGF plus eCG** [Text] / E. Gaebler, U. Eigenmann, R. Bruckmaier [et al.] // Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere. – 2015. – Vol. 43(6). – P. 331-339. doi: 10.15653/TPG-150249.
17. **Colazo M.G., Behrouzi A., Gobikrushanth M. Comparison of two intravaginal progesterone-releasing devices in lactating Holstein cows synchronized with a 5-d GnRH-based timed-AI protocol** [Text] / M.G. Colazo, A. Behrouzi, M. Gobikrushanth // Theriogenology. – 2024. – Vol. 229. – P. 83-87. doi: 10.1016/j.theriogenology.2024.08.018.
18. **Bors S.I., Ibănescu I., Creangă S. Reproductive performance in dairy cows with cystic ovarian disease after single treatment with buserelin acetate or dinoprost** [Text] / S.I. Bors, I. Ibănescu, S. Creangă // J Vet Med Sci. – 2018. – Vol. 80(7). – P. 1190-1194. doi: 10.1292/jvms.17-0690.
19. **Montagnani Marelli M., Moretti R.M., Januszkiewicz-Caulier J. Gonadotropin-releasing hormone (GnRH) receptors in tumors: a new rationale for the therapeutical application of GnRH analogs in cancer patients?** [Text] / M. Montagnani Marelli, R.M. Moretti, J. Januszkiewicz-Caulier // Curr Cancer Drug Targets. – 2006. – Vol. 6(3). – P. 257-269. doi: 10.2174/156800906776842966.
20. **Schneider F., Tomek W., Gründker C. Gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and its natural analogues: a review** [Text] / F. Schneider, W. Tomek, C. Gründker // Theriogenology. – 2006. – Vol. 66(4). – P. 691-709. doi: 10.1016/j.theriogenology.2006.03.025.
21. **Karakus S., Dogan H.O., Özkaraca M. The protective effect of Cloprostenol on ischemia/reperfusion injury in rat ovary: Histopathologic and immunohistochemically evaluation: An experimental study** [Text] / S. Karakus, H.O. Dogan, M. Özkaraca // Transpl Immunol. – 2024. – Vol. 86. – P. 102108. doi: 10.1016/j.trim.2024.102108.
22. **Piccinno M., Sciorsci R.L., Masciopinto V. Effects of d-cloprostenol on different layers and regions of the bovine uterus during the follicular and luteal phases** [Text] / M. Piccinno, R.L. Sciorsci, V. Masciopinto // Theriogenology. – 2017. – Vol. 96. – P. 92-96. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.04.012.

REFERENCES:

1. Forde N., Beltman M.E., Lonergan P., et al. Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Anim Reprod Sci*, 2011, vol. 124(3-4), pp. 163-169.
2. Shahsavari M.H., Moghaddam G., Alves K.A. et al. How origin of ovaries influences the vitrification outcome of bovine ovarian tissue: effects of side of ovaries and corpus luteum. *Vet Res Forum*, 2023, vol. 14(12), pp. 673-679.
3. Mapletoft R.J., Bó G.A., Baruselli P.S. et al. Evolution of knowledge on ovarian physiology and its contribution to the widespread application of reproductive biotechnologies in South American cattle. *Anim Reprod*, 2018, vol. 15(1), pp. 1003-1014.
4. Baruselli P.S., Abreu L.Â., Paula V.R. et al. Applying assisted reproductive technology and reproductive management to reduce CO₂-equivalent emission in dairy and beef cattle: a review. *Anim Reprod*, 2023, vol. 20(2), art. e20230060.
5. Purba F.Y., Suzuki N., Isobe N. Association of endometritis and ovarian follicular cyst with mastitis in dairy cows. *J Vet Med Sci*, 2021, vol. 83(2), pp. 338-343.
6. Derho M.A., Sereda T.I., Krajnova N.V. Biohimicheskiy status korov pri lyuteinovy'h kistah yaichnikov [Biochemical status of cows with ovarian lutein cysts]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no.3 (65), pp. 106-108. (In Russian)
7. Sereda T.I., Derho M.A., Kraynova N.V. Osobennosti gormon-metabolitny'h svyazej v organizme korov pri lyuteinovy'h kistah [Features of hormone-metabolite relationships in the body of cows with lutein cysts]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 2 (64), pp. 105-107. (In Russian)
8. Isobe N. Follicular cysts in dairy cows. *Animal Science Journal*, 2007, vol. 78, pp.1-6.
9. Stassi A., Etchevers L., Cainelli S. Ovarian leukocytes: Association with follicular persistence and cyst formation in dairy cows. *J Reprod Immunol*, 2024, vol. 165, 104289.
10. Barański W., Nowicki A., Zduńczyk S. Effect of repeated low doses of GnRH on follicular development and ovulation in anovulatory dairy cows with follicle growth to emergence size. *Pol J Vet Sci*, 2022, vol. 25(3), pp.391-396.
11. Cattaneo L., Signorini M.L., Bertoli J. Epidemiological description of cystic ovarian disease in argentine dairy herds: risk factors and effects on the reproductive performance of lactating. *Reprod Domest Anim*, 2014, vol. 49(6), pp. 1028-33.
12. Bartolome J.A., Thatcher W.W., Melendez P. Strategies for the diagnosis and treatment of ovarian cysts in dairy cattle. *J Am Vet Med Assoc*, 2005, vol. 227(9), pp. 1409-1414.
13. Bó G.A., Menchaca A. Prohibition of hormones in animal reproduction: what to expect and what to do? *Anim Reprod*, 2023, vol. – 20(2), art. e20230067.
14. Ambrose D.J., Schmitt E.J., Lopes F.L. Ovarian and endocrine responses associated with the treatment of cystic ovarian follicles in dairy cows with gonadotropin releasing hormone and prostaglandin F₂alpha, with or without exogenous progesterone. *Can Vet J*, 2004, vol. 45(11), pp. 931-937.
15. Crane M.B. Comparison of synchronization of ovulation with timed insemination and exogenous progesterone as therapeutic strategies for ovarian cysts in lactating dairy. *Theriogenology*, 2006, vol. 65(8), pp. 1563-1574.
16. Gaebler E. Fate of follicular ovarian cysts in early postpartum dairy cows treated with PRID/PGF or PRID/PGF plus eCG. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*, 2015, vol. 43(6), pp. 331-339.
17. Colazo M.G., Behrouzi A., Gobikrushanth M. Comparison of two intravaginal progesterone-releasing devices in lactating Holstein cows synchronized with a 5-d GnRH-based timed-AI protocol. *Theriogenology*, 2024, vol. 229, pp. 83-87.
18. Bors S.I., Ibănescu I., Creangă S. Reproductive performance in dairy cows with cystic ovarian disease after single treatment with buserelin acetate or dinoprost. *J Vet Med Sci*, 2018, vol. 80(7), pp 1190-1194.
19. Montagnani Marelli M., Moretti R.M., Januszkiewicz-Caulier J. Gonadotropin-releasing hormone (GnRH) receptors in tumors: a new rationale for the therapeutical application of GnRH analogs in cancer patients? *Curr Cancer Drug Targets*, 2006, vol. 6(3), pp. 257-269.
20. Schneider F., Tomek W., Gründker C. Gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and its natural analogues: a review. *Theriogenology*, 2006, vol. 66(4), pp. 691-709.
21. Karakus S., Dogan H.O., Özkaraca M. The protective effect of Cloprostenol on ischemia/reperfusion injury in rat ovary: Histopathologic and immunohistochemically evaluation: An experimental study. *Transpl Immunol*, 2024, vol. 86, pp. 102108.
22. Piccinno M., Sciorsci R.L., Masciopinto V. Effects of d-cloprostenol on different layers and regions of the bovine uterus during the follicular and luteal phases. *Theriogenology*, 2017, vol. 96, pp. 92-96.

Сведения об авторах:

Янич Татьяна Валерьевна* – кандидат ветеринарных наук, доктор PhD, научный сотрудник, НАО «Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Тобыл, ул. Калабаева, д.51 кв.1, тел.: 87051991255, e-mail: x-yanich-x@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4484-5674>.

Папуша Наталья Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры продовольственной безопасности и биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, г. Костанай, ул. Маяковского 99/1. тел.: 87054115171, e-mail: natali.p82@inbox.ru.

Хасанова Мадина Асылхановна – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110005, г. Костанай, мкрн. Юбилейный 28, кв.37, тел.: 87082968802, e-mail: khassanova.madina@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3213-6458>.

Дерхо Марина Аркадьевна – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой естественнонаучных дисциплин, ФГБОУВО Южно-Уральский ГАУ, 457100, Российская Федерация, 457100, г.Троицк, ул. Гагарина, 13, тел.: 89080471030, e-mail: khimieugavm@inbox.ru.

Янич Татьяна Валерьевна* – ветеринария ғылымдарының кандидаты, PhD докторы, ғылыми қызметкер, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы 110000, Тобыл қ., Калабаев көш,51, 1-ші пәтер, тел.: 87051991255, e-mail: x-yanich-x@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4484-5674>.

Папуша Наталья Владимировна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті», КЕАҚ, «Азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының» қауымдастырылған профессоры Қазақстан Республикасы, Қостанай қ., Маяковский көш 99/1. тел.: 87054115171, e-mail: natali.p82@inbox.ru.

Хасанова Мадина Асылхановна – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110005, Қостанай қ., Юбилейный ш/а 28, 37-ші пәтер, тел.: 87082968802 e-mail: khassanova.madina@yandex.kz., <https://orcid.org/0000-0003-3213-6458>.

Дерхо Марина Аркадьевна – биология ғылымдарының докторы, профессор, ФМБОУ Оңтүстік Орал МАУ жаратылыстану ғылымдары кафедрасының меңгеруші, Ресей Федерациясы, 457100, Троицк, Гагарин көш.,13, тел.: 89080471030; e-mail: khimieugavm@inbox.ru.

Yanich Tatyana Valeriyevna* – Candidate of Veterinary Sciences, PhD (Vet. Med.), Researcher, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Tobyl, Kalabayev Str., bld. 51, apt. 1, tel.: 87051991255, e-mail: x-yanich-x@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4484-5674>.

Papusha Nataliya Vladimirovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of food safety and biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy Str. tel.: 87054115171, e-mail: natali.p82@inbox.ru.

Khassanova Madina Assylkhanovna – PhD, Associate Professor of the Department of veterinary medicine, Faculty of agricultural sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110005, Kostanay, Yubilenyi micro district, bld. 28, apt. 37, tel.: 87082968802, e-mail: khassanova.madina@yandex.kz, <https://orcid.org/0000-0003-3213-6458>.

Derkho Marina Arkadiyevna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of natural sciences, FSBEI HE "South Ural State Agrarian University", Russian Federation, 457100, Troitsk, 13 Gagarin Str., tel.: 89080471030, e-mail: khimieugavm@inbox.ru.

ХҒТАР 68.35.29

ӨОЖ 631.53.01:581.143

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621084>

COTONEASTER MELANOCARPUS ӨСІМДІГІН IN VITRO ЖАҒДАЙЫНДА МИКРОКЛОНАЛДЫ КӨБЕЙТУ КЕЗІНДЕ АНАЛЫҚ ӨСІМДІКТЕРІНІҢ ФИТОСАНИТАРЛЫҚ БАҒАЛАНУЫ

Айшуқ Е.Ж.* – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, сеньор-лектор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ, Қазақстан Республикасы.

Сарсекова Д.Н. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Алматы қ, Қазақстан Республикасы.

Аканова А.Б. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ, Қазақстан Республикасы.

Бекишов К.К. – инженер-педагог, лектор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ, Қазақстан Республикасы.

Мақалада *Cotoneaster melanocarpus* өсімдігін *in vitro* жағдайында микроклоналды көбейту барысында аналық өсімдіктердің фитосанитарлық жағдайына кешенді баға берілді. Зерттеу нәтижелері визуалды сау көрінетін аналық материалдың едәуір бөлігінде жасырын микробиологиялық контаминация болатынын көрсетті, бұл биотехнологиялық көбейту тиімділігін төмендететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Атап айтқанда, өсімдіктердің 28–32 %-ында латентті микрофлора анықталып, оның *in vitro* культивирлеудің бастапқы кезеңдерінде белсенетіні дәлелденді. Культураны инициациялау кезеңінде стандартты беткі стерилизация әдістері қолданылғанына қарамастан, экспланттардың контаминация деңгейі 30–35 % құрады, бұл инфекцияның негізінен эндогенді сипатта екенін көрсетеді және оның толық жойылуының күрделілігін дәлелдейді. Микроөркендерді ½ MS қоректік ортасында 0,5 мг/л индолпилмай қышқылымен (IBA) өсіру жоғары тиімділік көрсетті: тамырлану деңгейі 82–88 % болып, әрбір өркенде орта есеппен 3–4 морфологиялық қалыпты тамыр түзілді. Алынған нәтижелер микроклоналды көбейтудің тиімділігі аналық өсімдіктердің фитосанитарлық жағдайымен тікелей байланысты екенін дәлелдейді. Алдын ала фитосанитарлық скрининг жүргізу *in vitro* мәдениеттердің шығынын азайтып, клондық ұрпаққа инфекцияның берілуін болдырмауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері орман шаруашылығы мен сәндік көгалдандыру үшін сапалы және фитосанитарлық қауіпсіз отырғызу материалын алуда практикалық маңызға ие.

Түйінді сөздер: *Cotoneaster melanocarpus*, микроклоналды көбейту, *in vitro*, фитосанитарлық бағалау, латентті контаминация, тамырлану.

ФИТОСАНИТАРНАЯ ОЦЕНКА МАТОЧНЫХ РАСТЕНИЙ COTONEASTER MELANOCARPUS ПРИ МИКРОКЛОНАЛЬНОМ РАЗМНОЖЕНИИ IN VITRO

Айшуқ Е.Ж.* – магистр естественных наук, сеньор-лектор, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Сарсекова Д.Н. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», г. Алматы, Республика Казахстан.

Аканова А.Б. – магистр сельскохозяйственных наук, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Бекишов К.К. – инженер-педагог, лектор, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

В статье представлена комплексная фитосанитарная оценка маточных растений *Cotoneaster melanocarpus* при микроклональном размножении *in vitro*. Установлено, что значительная часть визуально здорового маточного материала содержит латентную микробиологическую контаминацию, что является одним из ключевых факторов, ограничивающих эффективность биотехнологического размножения. В частности, у 28–32 % растений выявлена скрытая микрофлора, активизирующаяся на ранних этапах культивирования. На стадии инициации культуры, несмотря на применение стандартных методов поверхностной стерилизации, уровень контаминации эксплантов составил 30–35 %, что свидетельствует о преимущественно эндогенном характере инфекции и сложности ее полного устранения. Укоренение микропобегов на питательной среде ½ MS с добавлением 0,5 мг/л индолпилмасляной кислоты (IBA) характеризовалось высокой эффективностью: 82–88 % побегов образовывали корни, при этом формировалось в среднем 3–4 морфологически нормальных корня на один побег. Полученные результаты подтверждают прямую зависимость эффективности микроклонального размножения от фитосанитарного состояния исходного материала. Предварительный фитосанитарный скрининг позволяет снизить потери культур *in vitro*, повысить приживаемость эксплантов и предотвратить передачу инфекции клональному

потомству. Результаты исследования имеют практическое значение для получения качественного и фитосанитарно безопасного посадочного материала для лесного хозяйства, озеленения и восстановительных экологических проектов.

Ключевые слова: *Cotoneaster melanocarpus*, микроклональное размножение, *in vitro*, фитосанитарная оценка, латентная контаминация, укоренение.

PHYTOSANITARY ASSESSMENT OF COTONEASTER MELANOCARPUS STOCK PLANTS IN MICROCLONAL PROPAGATION IN VITRO

Aishuk Y.Zh.* – Master of Natural Sciences, Senior Lecturer, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Sarsekova D.N. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kazakh National Agrarian Research University NLC, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Akanova A.B. – Master of Agricultural Sciences, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Bekishov K.K. – Engineer-pedagogue, Lecturer, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

This study provides a comprehensive phytosanitary assessment of *Cotoneaster melanocarpus* stock plants during micropropagation *in vitro*. The results revealed that a substantial proportion of visually healthy donor material harbors latent microbial contamination, which represents a critical constraint for the efficiency of biotechnological propagation. Specifically, latent microflora was detected in 28–32% of donor plants and became active at the early stages of *in vitro* culture. At the culture initiation stage, despite the application of standard surface sterilization procedures, explant contamination levels reached 30–35%, indicating a predominantly endogenous origin of infection and highlighting the difficulty of its complete elimination. Rooting of microshoots on half-strength MS medium supplemented with 0.5 mg/L indolebutyric acid (IBA) demonstrated high efficiency, with 82–88% of shoots forming roots and an average of 3–4 morphologically normal roots per shoot. The findings demonstrate a direct relationship between the phytosanitary status of stock plants and the success of micropropagation. Preliminary phytosanitary screening of donor material reduces contamination losses *in vitro*, improves culture establishment, and prevents pathogen transmission to clonal progeny. The results are of practical importance for the production of high-quality, phytosanitary-safe planting material suitable for ornamental applications, forestry, and ecological restoration programs.

Keywords: *Cotoneaster melanocarpus*, micropropagation, *in vitro*, phytosanitary assessment, latent contamination, rooting.

Кіріспе

Қазақстанның солтүстік өңірлеріне тән континенттік климат жағдайында көгалдандыру, рекультивациялау және орман-мелиорациялық жұмыстардың қарқынды дамуына байланысты жергілікті жағдайларға жақсы бейімделген, сапалы ағаш-бұталы өсімдіктердің отырғызу материалына деген сұраныс артып отыр [1, 128-б.]. Тұрақты жасыл желектерді қалыптастыру мен бұзылған экожүйелерді қалпына келтіруде экологиялық тұрғыдан төзімді әрі пластикалық қасиеттері жоғары түрлерді пайдалану шешуші маңызға ие.

Осындай перспективалы өсімдіктердің қатарына жоғары құрғақшылық пен аязға төзімділігімен, сондай-ақ сәндік және топырақ қорғау құндылығымен ерекшеленетін қара жемісті ырғай (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. et Blytt) жатады [2, 48-б.]. Аталған қасиеттеріне байланысты бұл түр көгалдандыру мен қорғаныштық екпелерде кеңінен қолданылады, алайда оны дәстүрлі әдістермен жаппай көбейту бірқатар қиындықтармен шектеледі.

Қара жемісті ырғайды вегетативті жолмен көбейтудің дәстүрлі тәсілдері көбейту коэффициентінің төмендігімен және алынған отырғызу материалының тіршілікке бейімделу деңгейінің тұрақсыздығымен сипатталады, бұл оның практикалық қолданылуын шектейді [3, 1-б.]. Осыған байланысты соңғы жылдары қысқа мерзім ішінде қажетті көлемде генетикалық біртекті өсімдіктер алуға мүмкіндік беретін *in vitro* жағдайындағы микроклоналды көбейту әдістерінің маңызы артып келеді [4, 79-б.].

Сонымен қатар, ағаш-бұталы өсімдіктерді микроклоналды көбейтудің тиімділігі көбіне бастапқы аналық өсімдіктердің фитосанитарлық жағдайына тәуелді. *In vitro* жағдайында экспланттарды енгізу кезінде туындайтын негізгі мәселелердің бірі – табиғи өсу жағдайында ұзақ уақыт бойы сыртқы белгілерсіз сақталатын вирустардың, эндофитті бактериялардың және микроскопиялық саңырауқұлақтардың жасырын (латентті) жұқпаларының болуы [5, 458-б.].

Өсімдік тіндері стерильді культивирлеу жағдайына көшірілген кезде аталған микроорганизмдер жиі белсеніп, экспланттардың контаминациясына, өсуінің тежелуіне, морфогенез үдерістерінің бұзылуына және микроөргендердің тамырлану көрсеткіштерінің төмендеуіне әкеледі [6, 399-б.]. Ерекше қауіп төндіретін жайт – аналық өсімдікте кездесетін патогендердің кейінгі барлық клондарға берілу мүмкіндігі, соның нәтижесінде биологиялық және шаруашылық тұрғыдан сапасыз отырғызу материалының қалыптасуы [7, 1055-б.].

Қазіргі заманғы зерттеулер микроклоналды көбейтуді бастамас бұрын аналық өсімдіктерге алдын ала фитосанитарлық скрининг жүргізудің маңыздылығын көрсетеді. Мұндай скрининг мәдениетті және молекулалық-генетикалық диагностика әдістерін қамтуы тиіс [8, 812-б.]. Алайда *in vitro* жағдайында өсіруге енгізу алдында қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) аналық материалына кешенді фитосанитарлық бағалау жүргізу мәселелері, әсіресе Ақмола облысының жағдайында, әлі де жеткілікті деңгейде зерттелмеген.

Зерттеу мақсаты – *in vitro* жағдайында микроклоналды көбейту алдында қара жемісті ырғайдың аналық өсімдіктеріне алдын ала фитосанитарлық талдау жүйесін негіздеу және апробациялау арқылы патогенді және шартты-патогенді микроорганизмдердің клондарға берілуінің алдын алу және микроөркендердің тамырлану тиімділігін арттыру болып табылады.

Зерттеу міндеттері:

1. Қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) аналық өсімдіктерінің фитосанитарлық жағдайын бағалау және латентті микробиологиялық контаминацияның ықтимал көздерін анықтау.

2. *In vitro* мәдениетіне енгізу барысында алдын ала жүргізілген фитосанитарлық скринингтің экспланттардың контаминация деңгейіне және олардың тіршілікке қабілеттілігіне әсерін анықтау.

3. *In vitro* жағдайында қара жемісті ырғайдың микроөркендердің тамырлану көрсеткіштері мен бастапқы аналық материалдың сапасы арасындағы өзара байланысты анықтау.

Материалдар мен әдістер

Қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. et Blytt) аналық өсімдіктерінің фитосанитарлық жағдайы өсімдіктерге көрнекі және морфофизиологиялық баға беру негізінде анықталды. Бағалау барысында жапырақ аппараты мен өркендердің жалпы күйі, хлороздардың, некроздардың, деформациялардың болуы, сондай-ақ өсуінің тежелу белгілері ескерілді.

Сыртқы белгілері бойынша сау көрінетін өсімдіктерде ықтимал латентті микробиологиялық контаминацияны анықтау мақсатында өркендердің фрагменттері (өркеннің түп бөлігі және буынаралықтары) іріктеліп алынды. Алынған үлгілер TSA, R2A және PDA қоректік орталарға егу арқылы диагностикадан өткізілді. Егістерді 24–26 °C температурада 5–7 тәулік бойы инкубациялап, кейін бактериялық және саңырауқұлақтық өсу қарқындылығы есепке алынды [9, 1185-б.].

Аналық материалдың фитосанитарлық жағдайының *in vitro* жағдайында өсіруге экспланттарды енгізу сәттілігіне әсерін бағалау үшін 70 % этил спиртін және натрий гипохлориті ерітіндісін қолдану арқылы қалыпты беткі залалсыздандыру процедурасы жүргізілді. Залалсыздандырудан кейін экспланттар стерильді дистильденген сумен үш мәрте шайылды. *in vitro* жағдайында өсіруге енгізу инициация кезеңінде өсу реттегіштері қосылмаған Мурасиге–Скуганың базалық қоректік ортасында жүзеге асырылды. Экспланттардың контаминация деңгейі мен тіршілікке қабілеттілігі өсірудің 7-, 14- және 21-тәуліктерінде жұқаға шалдыққан үлгілердің пайыздық мөлшері мен тіндердің сақталу дәрежесі бойынша бағаланды [10, 1-б.].

In vitro жағдайында қара жемісті ырғайдың микроөркендерінің тамырлану үдерістерін зерттеу үшін тіршілікке қабілетті өсімдіктерден алынған ұзындығы 2,0–3,0 см микроөркендер пайдаланылды. Тамырландыру макроэлементтер концентрациясы екі есе азайтылған MS ($\frac{1}{2}$ MS) қоректік ортасында, құрамына 0,5 мг/л концентрациядағы индолилмай қышқылы (IBA) қосу арқылы жүргізілді. Өсіру 24 $\pm$ 2 °C температурада, 16/8 сағаттық фотопериодта және 40–60 мкмоль·м⁻²·с⁻¹ жарық қарқындылығында жүзеге асырылды. 21 тәуліктен кейін микроөркендердің тамырлану пайызы, түзілген тамырлардың саны және олардың морфологиялық ерекшеліктері анықталды [11, 473-б.].

Эксперименттік зерттеулер үш биологиялық қайталымда жүргізілді. Өрбір қайталымда зерттеу кезеңіне байланысты 30 аналық өсімдік, эксплант немесе микроөркен пайдаланылды. Алынған сандық деректер орташа мәндер $\pm$ стандартты қателік (SE) түрінде ұсынылды. Эксперименттік мәліметтерге статистикалық өңдеу вариациялық статистика әдістерін қолдану арқылы жүргізіліп, нәтижелер орташа мәндер мен қалыпты қателік ретінде көрсетілді [12, 405-б.].

Нәтижелер

Қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) аналық өсімдіктеріне жүргізілген көрнекті және морфофизиологиялық бағалау нәтижесінде зерттелген үлгілердің басым бөлігінде айқын сыртқы зақымдану белгілері анықталмады. Жапырақ аппараты мен өркендер жалпы қанағаттанарлық күйімен, айқын некроздар мен деформациялардың болмауымен сипатталды. Сонымен қатар өсімдіктердің 15–20 %-ында өсуінің тежелуімен қатар жүрмейтін, әлсіз байқалатын хлороз белгілері мен жапырақ түсінің біркелкі еместігі тіркелді.

Сыртқы белгілері бойынша зақымдану симптомдары байқалмағанына қарамастан, қоректік ортада өсіру арқылы жүргізілген диагностика нәтижелері көрнекті түрде сау көрінетін аналық өсімдіктердің бір бөлігінде латентті микробиологиялық контаминацияның бар екенін көрсетті, бұл 1-кестеде келтірілген деректермен расталады.

Өркен фрагменттерін TSA, R2A және PDA қоректік орталарға егу барысында микроорганизмдердің өсуі үлгілердің 28–32 %-ында байқалды. Контаминация негізінен өркеннің түп бөлігінде және буынаралықтар аймағында шоғырланған бактериялық және саңырауқұлақтық колониялардың түзілуі арқылы көрініс тапты.

1-кесте – Қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) аналық өсімдіктерінің фитосанитарлық жағдайы ($n = 30$ өсімдік $\times$ 3 биологиялық қайталым, $\text{Mean} \pm \text{SE}$)

№	Көрсеткіш	Көрсеткіш мәні
1	Зерттелген аналық өсімдіктердің саны	90
2	Көрнекі сау өсімдіктер, %	100
3	Хлороз және морфофизиологиялық ауытқулар белгілері бар өсімдіктер, %	$17,3 \pm 2,1$
4	Латентті микробиологиялық контаминациясы анықталған өсімдіктер, %	$30,1 \pm 1,9$
5	Фитосанитарлық тұрғыдан қолайлы өсімдіктер, %	$69,9 \pm 1,9$

Латентті микрофлораның анықталу жиілігі қолданылған қоректік ортаның түріне байланысты өзгеріп отырды. TSA қоректік ортасында микроорганизмдердің өсуі зерттелген үлгілердің 22–25 %-ында байқалса, R2A ортасында бұл көрсеткіш 18–21 % болды. Ал PDA ортасында контаминация 10–14 % үлгілерде анықталып, ол негізінен саңырауқұлақ микрофлорасының дамуымен байланысты болды.

Алынған нәтижелер сырттай сау көрінетін қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) аналық өсімдіктері де жасырын микробиологиялық контаминацияның әлеуетті көзі болуы мүмкін екенін дәлелдейді. Мұндай контаминация көрнекті бақылау барысында анықталмайды, алайда экспланттарды *in vitro* мәдениетіне енгізу кезінде белсенуі ықтимал.

Қара жемісті ырғай экспланттарын қалыпты беткі залалсыздандырудан кейін *in vitro* мәдениетіне енгізу нәтижелері аналық материалдың фитосанитарлық жағдайы инициация кезеңінде экспланттардың контаминация деңгейі мен өміршеңдігіне айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Өсірудің 7-күні экспланттардың 18–22 %-ында микробиологиялық зақымдану белгілері байқалды, бұл қоректік ортаның бактериялық лайлануы және кесу аймағында микрофлораның жергілікті өсуі түрінде көрініс тапты.

Өсірудің 14-күніне қарай контаминация деңгейі 24–28 %-ға дейін артты. Бұл кезеңде зақымданған экспланттардың басым бөлігі бұрын латентті микробиологиялық контаминациясы анықталған аналық өсімдіктерден алынғаны тіркелді. Ал фитосанитарлық тұрғыдан қолайлы өсімдіктерден алынған экспланттар тіндердің жоғары сақталуымен және өсудің тұрақты басталуымен сипатталды.

Өсірудің 21-күніне қарай жалпы контаминация деңгейі 30–35 % болды, алайда кейінгі мерзімде инфицирленген үлгілер санының күрт артуы байқалмады. Бұл микробиологиялық контаминацияның негізгі бөлігі өсірудің бастапқы кезеңдерінде көрініс беретінін және оның жеткіліксіз беткі залалсыздандырумен емес, негізінен жұқпаның эндогенді көздерімен байланысты екенін көрсетеді. Қара жемісті ырғай экспланттарын *in vitro* жағдайында өсірудің инициация кезеңіндегі микробиологиялық контаминация динамикасы 2-кестеде келтірілген.

2-кесте – *In vitro*дағы инициация кезеңінде *Cotoneaster melanocarpus* экспланттарының микробиологиялық контаминациясының динамикасы ($n = 30$ эксплант $\times$ 3 қайталым, $\text{Mean} \pm \text{SE}$)

№	Өсіру мерзімі	Контаминацияланған экспланттар	Өміршең экспланттар, %
1	7 күн	$20,3 \pm 1,5$	$79,7 \pm 1,5$
2	14 күн	$26,8 \pm 1,7$	$73,2 \pm 1,7$
3	21 күн	$33,1 \pm 2,0$	$66,9 \pm 2,0$

Контаминация белгілері байқалмаған экспланттардың өміршеңдігі жоғары деңгейде сақталып, өсірудің үшінші аптасының соңында 65–70 % болды. Мұндай экспланттар тургорын жоғалтпай, ұлпаларында некроз белгілері байқалмады және морфогенездің бастапқы көріністерін, атап айтқанда бүршіктердің ісінуі мен өркендердің ұзаруын көрсетті.

Осылайша, *in vitro* инициация кезеңінің нәтижелері беткі залалсыздандырудың қалыпты әрі тиімді әдістері қолданылғанның өзінде экспланттардың едәуір бөлігінің контаминациясы аналық материалдың латентті фитосанитарлық жағдайымен байланысты екенін дәлелдейді. Бұл аналық өсімдіктерді алдын ала фитосанитарлық талдау мен іріктеудің қажеттілігін айқын көрсетеді.

Қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) микроөркендерін құрамында индолилмай қышқылы (IBA) 0,5 мг/л болатын $\frac{1}{2}$ MS қоректік ортасында өсіру барысында бастапқы аналық материалдың сапасы мен инициация кезеңіндегі өсімдіктердің өміршеңдігі ризогенез көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Өсірудің 10–14-тәулігінде өміршең микроөркендердің көпшілігінде алғашқы тамыр бастамаларының түзілуі байқалды.

21-тәуліктегі есеп нәтижелері бойынша микроөркендердің тамырлану деңгейі 82–88 % болды. *In vitro* жағдайында қара жемісті ырғай микроөркендерінің тамырлану көрсеткіштері 3-кестеде келтірілген.

Ең жоғары тамырлану көрсеткіштері фитосанитарлық тұрғыдан қолайлы аналық өсімдіктерден алынған микроөркендерде тіркелді, ал ерте кезеңдерде латентті микробиологиялық микрофлорасы анықталған өсімдіктерден алынған микроөркендерде тамырлану деңгейі төмен болып, 65–70 % шамасында болды.

3-кесте – *In vitro* дағы инициация кезеңінде аналық материалдың фитосанитарлық жағдайының экспланттардың контаминациясы мен өміршеңдігіне әсері ($n = 30$ эксплант $\times$ 3 қайталым)

№	Аналық өсімдіктер тобы	Эксплант контаминациясы, %	Экспланттардың өміршеңдігі, %
1	Фитосанитарлық жағдайы жақсы	$18,4 \pm 1,6$	$81,6 \pm 1,6$
2	Жасырын контаминациямен	$44,7 \pm 2,3$	$55,3 \pm 2,3$

Тамырланған бір микроөркенде келетін тамырлардың орташа саны 3,2-ден 4,1-ге дейін ауытқыды, бұл ретте тамыр жүйесі айқын өсу аймағы бар, жақсы дамыған, жіңішке әрі тармақталған тамырлардың түзілуімен сипатталды. Өркендердің түп бөлігінде каллус түзілуінің морфологиялық белгілері әлсіз байқалды немесе мүлде анықталмады, бұл ризогенездің тікелей жолмен жүретінін көрсетеді.

Алынған нәтижелер *in vitro* жағдайында құрамына 0,5 мг/л концентрациядағы индолилмай қышқылы (IBA) қосылған $\frac{1}{2}$ MS қоректік ортасын қолдану қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) микроөркендерінің тиімді тамырлануын қамтамасыз ететінін дәлелдейді. Сонымен қатар аналық материалдың фитосанитарлық жағдайы, *in vitro* жағдайында өсірілген өсімдіктердің өміршеңдігі және қалыптасатын тамыр жүйесінің сапасы арасында тікелей өзара байланыс анықталды.

Талқылау

Зерттеу нәтижелері қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) аналық өсімдіктерінің фитосанитарлық жағдайы *in vitro* жағдайындағы микроклоналды көбейтудің тиімділігіне айқындаушы әсер ететінін растайды. Көрнекті тұрғыдан сау көрінетін өсімдіктерде латентті микробиологиялық контаминацияның анықталуы ағаш және бұта тектес дақылдардың ұлпаларында эндофитті микроорганизмдердің кең таралғаны туралы деректермен сәйкес келеді. Бұл микроорганизмдер табиғи өсу жағдайында сыртқы белгілерсіз сақталып, *in vitro* жағдайында өсіру барысында белсенді күйге өтетіні белгілі [13, 12-б.].

Инициация кезеңінде экспланттардың контаминация деңгейінің қалыпты беткі залалсыздандыру әдістері қолданылғанына қарамастан артуы жұқпа көздерінің негізінен эндогенді сипатта екенін дәлелдейді. Ұқсас нәтижелер басқа да ағаш тектес өсімдіктерді микроклоналды көбейту барысында алынған, онда залалсыздандыру тиімділігінің ішкі микрофлораның болуымен едәуір дәрежеде шектелетінін көрсетілген [14, 8-б.]. Бұл экспланттарды *in vitro* мәдениетіне енгізер алдында аналық материалға алдын ала фитосанитарлық скрининг жүргізудің қажеттілігін айқындайды.

$\frac{1}{2}$ MS қоректік ортасында индолилмай қышқылының (IBA) 0,5 мг/л концентрациясын қолдану арқылы алынған қара жемісті ырғай микроөркендерінің жоғары тамырлану көрсеткіштері заманауи зерттеулер деректерімен үйлеседі және сәндік бұталы өсімдіктерде тікелей ризогенезді индукциялауда аталған орта мен ауксин комбинациясының тиімділігін көрсетеді [15, 3-б.]. Сонымен қатар фитосанитарлық тұрғыдан қолайсыз аналық өсімдіктерден алынған микроөркендерде тамырлану деңгейінің төмендеуі бастапқы материал сапасының микроклоналды көбейтудің барлық кезеңдеріне жинақталған (кумулятивті) әсерін растайды.

Осылайша, алынған нәтижелер өсімдік ұлпаларында кездесетін латентті микрофлораның рөлі туралы қазіргі ғылыми түсініктермен толық сәйкес келеді және *in vitro* биотехнологиялық үдерістің міндетті кезеңі ретінде қара жемісті ырғайдың аналық өсімдіктеріне кешенді фитосанитарлық талдау жүргізудің орындылығын дәлелдейді.

Қорытынды

Зерттеу барысында қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus*) аналық өсімдіктерінде сыртқы зақымдану белгілері айқын байқалмаған жағдайдың өзінде латентті микробиологиялық контаминацияның 28–32 % деңгейінде анықталатыны және оның *in vitro* мәдениетінің инициация кезеңінде экспланттардың 30–35 %-ға дейін жұқпаға шалдығуына әкелетіні анықталды. Қалыпты беткі залалсыздандыру процедуралары жұқпаның ішкі көздерін толық жоюды қамтамасыз етпейтіні көрсетіліп, бұл бастапқы аналық материалдың фитосанитарлық жағдайының шешуші маңызын айқындайды.

Құрамына индолилмай қышқылы (IBA) 0,5 мг/л қосылған $\frac{1}{2}$ MS қоректік ортасын қолдану микроөркендердің жоғары деңгейде тамырлануын (82–88 %) қамтамасыз етіп, бір өркенге орта есеппен 3–4 тамырдың түзілуімен сипатталды. Бұл алынған ризогенез схемасының тиімділігін дәлелдейді.

Мұндай зерттеулердің маңыздылығы микроклоналды көбейту үдерісін оңтайландыруға, фитосанитарлық тұрғыдан қолайсыз аналық өсімдіктерді биотехнологиялық циклден алып тастау арқылы жұқпаның клоналды ұрпаққа таралуын болдырмауға және *in vitro* мәдениетінде шығындарды азайтуға мүмкіндік беруімен айқындалады.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Айшуқ Е. Ж., Ақмола облысындағы қара жемісті ырғайдың (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. Blytt.) фитонцидтерінің бактерицидтік қасиеттері [мәтін] / Сарсекова Д. Н., Ercisli S., Шегенов С. Т. // *3i: Intellect, Idea, Innovation*. – 2024. – № 4. – С. 128–133. – DOI: 10.52269/22266070_2024_4_128.
2. Сарсекова Д. Н., Ақмола облысындағы қара жемісті ырғай (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt.) жемістеріндегі С дәруменінің құрамы [Мәтін] / Айшуқ Е. Ж., Sezai Ercişli. //

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің ғылым жаршысы. – 2024. – № 1(120). – (Ауылшаруашылық ғылымдары).

3. **Thomas P. Endophytic bacteria in plant tissue culture: detection, impact and management** [Text] / Thomas P. // *Plant Cell Tissue Organ Cult.* – 2021. – Vol. 146. – No. 1. – P. 1–17. – DOI: 10.1007/s11240-021-02043-7.

4. **Abdalla N. An academic and technical overview on plant micropropagation** [Text] / Abdalla N., El-Ramady H., Seliem M.K., El-Marsafawy S. // *Horticulturae*. – 2022. – Vol. 8. – No. 1. – P. 79. – DOI: 10.3390/horticulturae8010079.

5. **El-Banna A.N. Endophytic bacteria in banana *in vitro* cultures: molecular identification and influence on survival** [Text] / El-Banna A.N., El-Sayed A., Thomas P. // *Horticulturae*. – 2021. – Vol. 7. – No. 11. – P. 458. – DOI: 10.3390/horticulturae7110458.

6. **Cassells A.C. Pathogen detection and elimination in plant tissue culture** [Text] / Cassells A.C., Doyle B.M. // *Plant Cell Tissue Organ Cult.* – 2020. – Vol. 142. – No. 3. – P. 399–417. – DOI: 10.1007/s11240-020-01845-2.

7. **Rout G.R. Micropropagation of woody plants: rooting and acclimatization** [Text] / Rout G.R., Mohapatra A. // *Trees*. – 2020. – Vol. 34. – No. 4. – P. 1015–1030. – DOI: 10.1007/s00468-020-01977-3.

8. **Kirillov A. Micropropagation strategies for ornamental shrubs** [Text] / Kirillov A., Pathak S. // *Plants*. – 2023. – Vol. 12. – No. 4. – P. 812. – DOI: 10.3390/plants12040812.

9. **Panattoni A. Elimination of viruses in plants: twenty years of progress** [Text] / Panattoni A., Luvisi A., Triolo E. // *Plant Pathology*. – 2019. – Vol. 68. – No. 7. – P. 1185–1198. – DOI: 10.1111/ppa.13042.

10. **George E.F. Plant propagation by tissue culture** [Text] / George E.F., Hall M.A., De Klerk G.-J. – Dordrecht : Springer, 2008. – 501 p.

11. **Murashige T. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures** [Text] / Murashige T., Skoog F. // *Physiol. Plant.* – 1962. – Vol. 15. – No. 3. – P. 473–497.

12. **Cassells A.C. Contamination and its impact in plant tissue culture** [Text] / Cassells A.C. // *Plant Cell Tissue Organ Cult.* – 2019. – Vol. 136. – No. 3. – P. 405–420. – DOI: 10.1007/s11240-019-01581-4.

13. **Romadanova N.V. Modern and traditional strategies for controlling microbial contamination in plant micropropagation: current insights and future perspectives** [Text] / Romadanova N.V., Kochetova A.A., Ivanova M.I. // *Current Research in Biotechnology*. – 2025. – Vol. 7. – P. 100337. – DOI: 10.1016/j.crbiot.2025.100337.

14. **Volk G.M. Minimizing the deleterious effects of endophytes in plant tissue culture** [Text] / Volk G.M. // *Frontiers in Plant Science*. – 2022. – Vol. 13. – Article 957509. – DOI: 10.3389/fpls.2022.957509.

15. **Izarra M.L. Identification and control of latent bacteria in *in vitro* plant tissue culture** [Text] / Izarra M.L., Segura J., Martínez J. // *Frontiers in Plant Science*. – 2020. – Vol. 11. – Article 903. – DOI: 10.3389/fpls.2020.00903.

REFERENCES:

1. **Aishuk E.Zh. Sarsekova D.N., Ercisli S., Shegenov S.T. Akmola oblysyndagy kara zhemisti yrgajdyn (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch Blytt.) fitoncidterinin baktericidtik kasietteri** [Bactericidal properties of phytoncides of *Cotoneaster melanocarpus* fisch. ex. blytt. of the Akmola region]. 3i: *Intellect, Idea, Innovation*, 2024, no. 4, pp. 128–133. DOI: 10.52269/22266070_2024_4_128. (In Kazakh)

2. **Sarsekova D.N., Aishuk E.Zh., Ercisli S. Akmola oblysyndagy kara zhemisti yrgaj (*Cotoneaster melanocarpus* Disch. ex. blytt.) zhemisterindegi s darumeninin kuramy** [Vitamin C content in fruits of *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt. Frothe Akmola region]. *Bull. Sci. S.Seifullin Kazakh Agrotechn. Res. Univ.*, 2024, no. 1(120), pp. 48–57. DOI: 10.51452/kazatu.2024.1(120).1614. (In Kazakh)

3. **Thomas P. Endophytic bacteria in plant tissue culture: detection, impact and management.** *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2021, vol. 146, no. 1, pp. 1–17. DOI: 10.1007/s11240-021-02043-7.

4. **Abdalla N., El-Ramady H., Seliem M.K., El-Marsafawy S. An academic and technical overview on plant micropropagation.** *Horticulturae*, 2022, vol. 8, no. 1, pp. 79. DOI: 10.3390/horticulturae8010079.

5. **El-Banna A.N., El-Sayed A., Thomas P. Endophytic bacteria in banana *in vitro* cultures: molecular identification and influence on survival**. *Horticulturae*, 2021, vol. 7, no. 11, pp. 458. DOI: 10.3390/horticulturae7110458.

6. **Cassells A.C., Doyle B.M. Pathogen detection and elimination in plant tissue culture.** *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2020, vol. 142, no. 3, pp. 399–417. DOI: 10.1007/s11240-020-01845-2.

7. **Rout G.R., Mohapatra A. Micropropagation of woody plants: rooting and acclimatization.** *Trees*, 2020, vol. 34, no. 4, pp. 1015–1030. DOI: 10.1007/s00468-020-01977-3.

8. **Kirillov A., Pathak S. Micropropagation strategies for ornamental shrubs**. *Plants*, 2023, vol. 12, no. 4, art. 812. DOI: 10.3390/plants12040812.

9. **Panattoni A., Luvisi A., Triolo E. Elimination of viruses in plants: twenty years of progress.** *Plant Pathology*, 2019, vol. 68, no. 7, pp. 1185–1198. DOI: 10.1111/ppa.13042.

10. **George E.F., Hall M.A., De Klerk G.-J. Plant propagation by tissue culture.** Dordrecht, Springer, 2008, 501 p.

11. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, 1962, vol. 15, no. 3, pp. 473–497.
12. Cassells A.C. Contamination and its impact in plant tissue culture. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2019, vol. 136, no. 3, pp. 405–420. DOI: 10.1007/s11240-019-01581-4.
13. Romadanova N.V., Kochetova A.A., Ivanova M.I. Modern and traditional strategies for controlling microbial contamination in plant micropropagation: current insights and future perspectives. *Current Research in Biotechnology*, 2025, vol. 7, art. 100337. DOI: 10.1016/j.crbiot.2025.100337.
14. Volk G.M. Minimizing the deleterious effects of endophytes in plant tissue culture. *Frontiers in Plant Science*, 2022, vol. 13, art. 957509. DOI: 10.3389/fpls.2022.957509.
15. Izarra M.L., Segura J., Martínez J. Identification and control of latent bacteria in in vitro plant tissue culture. *Frontiers in Plant Science*, 2020, vol. 11, art. 903. DOI: 10.3389/fpls.2020.00903.

Авторлар туралы мәліметтер:

Айшуқ Еділ Жұмабекұлы* – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, «Ауыл шаруашылығы және биоресурстар» кафедрасының сеньор-лекторы, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш, 76, 1 ғимарат, тел.: 87075175284, e-mail: edil_94.03@mail.ru.

Сарсекова Дани Нургисаевна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, «Орман және жер шаруашылығы» факультетінің деканы, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 050000, Алматы қ., Абай көш, 8, 1 ғимарат, тел.: 87013161442, e-mail: dani999@mail.ru.

Аканова Айгерим Болатовна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Механизация және мал шаруашылығы» кафедрасының сеньор-лекторы, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш, 76, 1 ғимарат, тел.: 87711285058, e-mail: aikosha_91-02@mail.ru.com.

Бекишов Канат Кожобекович – инженер-педагог, «Инженерлік технологиялар және көлік» кафедрасының лекторы, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш, 76, 1 ғимарат, тел.: 877472546420, e-mail: kanat_bekishov@mail.ru.

Айшуқ Еділ Жұмабекұлы* – магистр естественных наук, сеньор-лектор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, улица Абая 76, корпус 1, тел.: 87075175284, e-mail: edil_94.03@mail.ru.

Сарсекова Дани Нургисаевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, декан факультета лесного и земельного хозяйства, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050000, г. Алматы, Проспект Абая 8, корпус 1, тел.: 87013161442, e-mail: dani999@mail.ru.

Аканова Айгерим Болатовна – магистр сельскохозяйственных наук, сеньор-лектор кафедры механизации и животноводства, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, улица Абая 76, корпус 1, тел.: 87711285058, e-mail: aikosha_91-02@mail.ru.com.

Бекишов Канат Кожобекович – инженер-педагог, лектор кафедры инженерных технологии и транспорта, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, улица Абая 76, корпус 1, тел.: 87472546420, e-mail: kanat_bekishov@mail.ru.

Aishuk Yedil Zhumabekuly* – Master of Natural Sciences, Senior Lecturer, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., bld. 1, tel.: 87075175284, e-mail: edil_94.03@mail.ru.

Sarsekova Dani Nurgissayevna – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Faculty of forest and land management, Kazakh National Agrarian Research University NLC, Republic of Kazakhstan, 050000, Almaty, 8 Abai Ave., bld. 1, tel.: 87013161442, e-mail: dani999@mail.ru.

Akanova Aigerim Bolatovna – Master of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Department of mechanization and animal husbandry, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., bld. 1, tel.: 87711285058, e-mail: aikosha_91-02@mail.ru.com.

Bekishov Kanat Kozhabekovich – Engineer-Pedagogue, Lecturer, Department of engineering technologies and transport, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., bld. 1, tel.: 877472546420, e-mail: kanat_bekishov@mail.ru.

IRSTI 68.35.31

UDC 631.95

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621091>

ENHANCING THE SUSTAINABILITY OF AGROECOSYSTEMS UNDER CLIMATE STRESS THROUGH THE INTEGRATION OF LEGUME CROPS, BIOLOGICAL PREPARATIONS, AND LEGUME–CEREAL CROP ROTATIONS IN NORTHERN KAZAKHSTAN

Ansabayeva A.S.* – PhD, Associate Professor, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Makhambetov M.Zh. – PhD, Associate Professor, K.Zhubanov Aktobe Regional University NLC, Aktobe, Republic of Kazakhstan.

Baidalin M.Ye. – PhD, Professor, Sh.Ualikhanov Kokshetau State University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Moskvicheva Ye.N. – 2nd-year PhD student of the “Crop Production” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

The article addresses the issues of increasing the sustainability and productivity of agroecosystems under conditions of climatic instability in Northern Kazakhstan, characterized by frequent droughts, uneven precipitation distribution, and increased temperature stress during the growing season. Particular attention is paid to the integration of leguminous crops, especially chickpea, as well as the use of biological preparations within legume–cereal crop rotation systems as a promising direction in the biologization of agriculture. The paper presents the results of field and laboratory studies aimed at a comprehensive assessment of the impact of agrotechnological practices on soil fertility, water regime, and crop productivity. The research examined agrochemical and agrophysical soil parameters, including humus content, macro- and micronutrient availability, soil acidity, bulk density, and water retention capacity, as well as plant biometric characteristics, leaf area development, and biomass accumulation dynamics. It was established that the use of biopreparations and seed inoculation with rhizobial bacteria enhances microbiological activity in the soil, improves nitrogen availability, and increases water use efficiency. A positive effect on soil structure and biological activity was also observed.

The application of these approaches ensures a stable increase in chickpea yield, improves product quality, and reduces dependence on mineral fertilizers. The economic evaluation demonstrated increased profitability due to cost optimization and higher productivity. The obtained results confirm the feasibility of implementing biologized technologies as an effective tool for adapting agriculture to changing climatic conditions and ensuring sustainable agricultural development in arid regions.

Keywords: preparations; chernozem (black soil); legume crops; biodiversity; agroecosystem sustainability.

КЛИМАТТЫҚ СТРЕСС ЖАҒДАЙЫНДА СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДА БҰРШАҚ ТҰҚЫМДАС ДАҚЫЛДАРДЫ, БИОПРЕПАРАТТАРДЫ ЖӘНЕ БҰРШАҚ-ТҰҚЫМДАС-АСТЫҚ АУЫСПАЛЫ ЕГІСТЕРІН ИНТЕГРАЦИЯЛАУ НЕГІЗІНДЕ АГРОЭКОЖҮЙЕЛЕРДІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ

Ансабаева А.С.* – PhD, қауымдастырылған профессор, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Махамбетов М.Ж. – PhD, қауымдастырылған профессор, «Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КЕАҚ, Ақтөбе қ., Қазақстан Республикасы.

Байдалин М.Е. – PhD, профессор, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы;

Москвичева Е.Н. – 2-курс докторанты, «Өсімдік шаруашылығы» білім беру бағдарламасы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Солтүстік Қазақстан жағдайындағы климаттық тұрақсыздық аясында агроэкожүйелердің тұрақтылығы мен өнімділігін арттыру мәселелері қарастырылады. Бұл өңірге жиі қайталанатын құрғақшылық, жауын-шашынның біркелкі түспеуі және вегетациялық кезеңде температуралық жүктеменің артуы тән. Зерттеуде бұршақ дақылдарын, атап айтқанда ноқатты енгізу, сондай-ақ бұршақ-дәнді дақылдар ауыспалы егіс жүйесінде биологиялық препараттарды қолдану агроөндірісті биологизациялаудың перспективалы бағыты ретінде қарастырылған. Еңбекте агротехнологиялық тәсілдердің топырақ құнарлылығына, су режиміне және дақыл өнімділігіне әсерін кешенді бағалауға бағытталған далалық және зертханалық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Зерттеу барысында топырақтың агрохимиялық және агрофизикалық көрсеткіштері, соның ішінде гумус мөлшері, макро- және микроэлементтердің құрамы, қышқылдық деңгейі, тығыздығы және ылғал сақтау қабілеті, сондай-ақ өсімдіктердің биометриялық параметрлері, жапырақ бетінің қа-

лыптасу динамикасы мен биомасса жинақталуы зерттелді. Биопрепараттарды қолдану және тұқымды түйнек бактерияларымен инокуляциялау топырақтағы микробиологиялық процестерді белсендіріп, азоттың қолжетімділігін арттырып, суды пайдалану тиімділігін жоғарылататыны анықталды. Сонымен қатар, топырақ құрылымы мен оның биологиялық белсенділігінің жақсаруы байқалды.

Ұсынылған агротехнологияларды қолдану нәтижесінде өнімділігінің тұрақты өсуін қамтамасыз етіп, өнім сапасын арттырады және минералдық тыңайтқыштарға тәуелділікті төмендетеді. Жүргізілген экономикалық бағалау шығындарды оңтайландыру және өнімділікті арттыру есебінен рентабельділіктің жоғарылағанын көрсетті. Алынған нәтижелер биологизацияланған технологияларды енгізудің ауыл шаруашылығын өзгермелі климат жағдайларына бейімдеудің тиімді құралы екенін және қуаң аймақтарда тұрақты дамуды қамтамасыз ететінін дәлелдейді.

Түйінді сөздер: препараттар; қара топырақ; бұршақ дақылдары; биоалуантүрлілік; агро-жүйелердің тұрақтылығы.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКОГО СТРЕССА НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ БОБОВЫХ КУЛЬТУР, БИОПРЕПАРАТОВ И БОБОВО-ЗЛАКОВЫХ СЕВОБОРОТОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Ансабаева А.С.* – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Махамбетов М.Ж. – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова», г.Актобе, Республика Казахстан.

Байдалин М.Е. – PhD, профессор, НАО «Кокшетауский государственный университет имени Ш. Уалиханова» г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Москвичева Е.Н. – докторант 2 курса, образовательной программы «Растениеводство», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В статье рассматриваются вопросы повышения устойчивости и продуктивности агроэкосистем в условиях климатической нестабильности Северного Казахстана, характеризующейся частыми засухами, неравномерным распределением осадков и повышенной температурной нагрузкой в вегетационный период. Особое внимание уделено интеграции бобовых культур, в частности нута, а также применению биологических препаратов в системе бобово-злаковых севооборотов как одному из перспективных направлений биологизации земледелия. Представлены результаты полевых и лабораторных исследований, направленных на комплексную оценку влияния агротехнологических приёмов на плодородие почвы, водный режим и урожайность культуры. В ходе исследований изучены агрохимические и агрофизические показатели почвы, включая содержание гумуса, макро- и микроэлементов питания, уровень кислотности, плотность сложения и водоудерживающую способность, а также биометрические параметры растений, динамику формирования листовой поверхности и накопления биомассы. Установлено, что использование биопрепаратов и инокуляция семян клубеньковыми бактериями способствуют активизации микробиологических процессов в почве, улучшению азотного питания растений и повышению коэффициента использования влаги. Отмечено положительное влияние данных приёмов на структуру почвы и её биологическую активность.

Применение предложенных агротехнологий обеспечивает устойчивый рост урожайности нута, улучшение качественных показателей продукции и снижение зависимости от минеральных удобрений. Проведённая экономическая оценка показала повышение рентабельности производства за счёт оптимизации затрат и повышения продуктивности. Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения биологизированных технологий как эффективного инструмента адаптации земледелия к изменяющимся климатическим условиям и обеспечения устойчивого развития сельского хозяйства в засушливых регионах.

Ключевые слова: препараты, чернозем, бобовые культуры, биоразнообразие, устойчивость агроэкосистем.

Introduction

Under current conditions of global climate change, the agricultural sector faces a number of significant challenges that directly affect the sustainability and productivity of crop production. Rising average annual temperatures, changes in precipitation patterns, increasing frequency of extreme weather events (droughts, heavy rains, temperature anomalies), as well as soil degradation, necessitate a reconsideration of traditional approaches to farming. In this context, the development and implementation of adaptive agricultural technologies that not only increase crop yields but also conserve natural resources and restore the ecological balance of agroecosystems is of particular importance [1, p. 23].

One promising direction for sustainable agriculture is the use of scientifically based crop rotation systems that include legumes and cereals. These crops possess a range of biological and agroecological advantages, enabling effective regulation of soil fertility, optimization of water and nutrient use, and increased resilience of agrocenoses to environmental stress factors. Leguminous crops, such as chickpeas, lentils, peas, and others, play an important role in the biologization of agriculture due to their ability to fix atmospheric nitrogen symbiotically with the help of *Rhizobium* bacteria. This leads to the accumulation of bioavailable nitrogen in the soil, reducing the need for mineral fertilizers and decreasing anthropogenic environmental pressure. In turn, cereal crops (wheat, barley, oats) are highly adaptive and efficiently utilize natural resources, contributing to a stable structure of agro-phytocenoses [2,3, p. 32].

The combination of legumes and cereals within crop rotation creates a pronounced synergistic effect, manifested in improved agro-physical, agro-chemical, and biological properties of the soil. The extensive root systems of cereals enhance soil structure and water retention, while legumes contribute to organic matter accumulation and increased humus content. As a result, more resilient and productive agroecosystems are formed, capable of effective functioning under limited water availability and climatic instability. These processes are especially important for regions with a sharply continental climate, such as Northern Kazakhstan. This area is characterized by frequent drought periods, high temperature amplitudes, and limited soil moisture reserves. In these conditions, introducing drought-tolerant crops, such as chickpeas, in combination with adapted cereals is a key strategy for enhancing agricultural resilience. The relevance of this study is determined by the need to develop effective and environmentally sustainable farming systems capable of adapting to modern climate changes and ensuring stable agricultural production. Under conditions of water scarcity and declining soil fertility, the implementation of agronomic practices aimed at biologization and rational use of natural resources is particularly important. Crop rotations including legumes and cereals are considered among the most effective tools for enhancing the biodynamics of agroecosystems. Such systems promote soil microbiological activity, increase organic matter content, improve soil structure, and enhance water retention. This is especially critical under increasing climatic stress, where the resilience of agroecosystems becomes a key factor in ensuring food security [3,4, p. 72].

Another important aspect is the economic efficiency of these agronomic practices. Reduced costs for mineral fertilizers through biological nitrogen fixation, decreased need for plant protection agents, and increased crop yields contribute to higher profitability. At the same time, there is an environmental benefit through reduced chemical load on the soil and surrounding environment. The use of biological agents and growth stimulants further enhances the positive effects of crop rotations, activating physiological processes in plants and increasing their resilience to adverse environmental factors. Their integration into cultivation technology improves resource use efficiency and ensures more stable yields [4, p. 62].

Thus, the development and scientific justification of crop rotation systems involving legumes and cereals, as well as the improvement of their cultivation technologies, are highly relevant tasks for modern agricultural science. Implementing these approaches contributes to the formation of resilient agroecosystems, increased soil fertility, and long-term ecological and economic stability in agriculture.

Objective of the study: Implementation of sustainable agronomic technologies for legume cultivation to increase productivity and enhance the stability of agroecosystems.

Tasks:

- 1) To determine the meteorological and soil conditions of the experimental site;
- 2) To determine the content of nutrients (humus level, soil density, pH, etc.) affecting chickpea productivity and soil fertility improvement;
- 3) To evaluate the effect of biological agents;
- 4) To determine biometric parameters of crops (field germination, plant height) and chickpea yield depending on the use of biological agents;
- 5) To conduct an economic assessment of the effectiveness of new agronomic practices, including yield increase and improvement of environmental indicators.

Materials and Methods

Experimental studies were conducted at the stationary base of the Department of Agronomy following generally accepted methodological approaches for establishing and conducting field experiments according to B.D. Dospekhov [5, 6, p. 23], as well as in accordance with the methodology of state variety testing of agricultural crops. In Kostanay Region, Altynsarin District, Zhanasu village.

The object of study was the regionally adapted chickpea variety (*Cicer arietinum* L.) – Volgograd 10. This early-maturing variety has a vegetation period of approximately 75 days, demonstrates resistance to major diseases, and is adapted to adverse climatic conditions. Field experiments were established with temporal replication over the period 2025–2027. The experimental design included three replicates. The total area of each plot was 120 m², with a working area of 100 m². Sowing was carried out in the second decade of May when the soil reached physical maturity, during the regionally optimal agronomic period. The preceding crop was spring wheat, sown after a clean fallow. The experimental site was selected based on soil maps, agrochemical maps, and historical field data. Additional information from the farm agronomy service regarding predecessors, applied agronomic practices, fertilization, and liming was also considered. Seed quality assessment was conducted in the laboratory in accordance with current state standards (GOST 12036–85 –

12042–80) [7, p. 23]. Parameters determined included germination energy (7th day), laboratory germination (14th day), and seed purity. Soil samples were collected from a 0–100 cm profile at 20 cm intervals to analyze soil moisture and nutrient content. To evaluate the impact of biological agents and fertilizers on soil fertility, additional samples were taken from depths of 0–20 and 20–40 cm at five points per plot. The following indicators were measured in the collected samples [8,9,10,11]:

- Soil moisture – by gravimetric method;
- Humus content – by Tyurin method (GOST 26213-91);
- Soil pH – by ionometric method;
- Nitrate nitrogen – using a nitrate analyzer;
- Available phosphorus and exchangeable potassium – by Machigin method;
- Absorbed calcium and magnesium – by titrimetric method.

During the growing season, plant samples (50 plants per plot along the diagonal) were collected to determine dry matter accumulation and chemical composition. All laboratory analyses were performed in duplicate. Humus content was determined before the experiment, mid-rotation, and at the end of the crop rotation. Total nitrogen was analyzed using the Kjeldahl method (macro- and micro-methods), and total phosphorus by the Lebedyantsev method with colorimetric determination. Fractional phosphate composition was studied using Chirikov and Chang-Jackson methods (modified by Ginzburg and Lebedeva). Phenological observations included field germination, plant density (measured diagonally on 0.25 m² sampling areas), and assessment of crop condition at different developmental stages. Aboveground biomass was measured by cutting plants at soil level every 10 days, starting from the full emergence phase. Weed infestation was assessed quantitatively by weight at tillering, flowering, and maturation stages using a 1 m² sampling frame at four diagonal points per plot. Plant height was measured at key developmental stages: emergence, third leaf, budding, flowering, end of flowering, and full maturity.

Agronomic Practices

Soil preparation included early spring harrowing to conserve moisture and destroy weed sprouts at the “white thread” stage (late March–early April). Prior to sowing, cultivation with harrowing and rolling was performed. Seeds were inoculated with strains of *Rhizobium* spp. five hours before sowing on a tarpaulin surface (4×6 m), avoiding direct sunlight. The inoculant used was “Rhizovit AKS,” containing highly active *Rhizobium* strains on a peat base enriched with biologically active substances, applied at 400 g per hectare of seeds. During the growing season, the biological preparation “Baikal M” was applied using a backpack sprayer at a rate of 250 L/ha of working solution.

Data Processing

Reliability of the experimental data was ensured through mathematical statistics and correlation analysis to identify relationships between crop productivity and applied agronomic practices. Statistical analysis was performed using Microsoft Excel 2021 (ANOVA), as well as specialized statistical software packages “Snedecor” and “STATISTICA.” For all laboratory tests, a significance level of $p < 0.05$ was applied.

Results and Discussion

Meteorological observations of air temperature and precipitation were conducted at the experimental site. In January, the average air temperature was -9.1°C , with a minimum of -23.1°C , a maximum of $+1.3^{\circ}\text{C}$, and precipitation of 27 mm. In February, the average temperature was -9.5°C (min -24.3°C , max $+2.2^{\circ}\text{C}$), precipitation 66 mm. In March, the average temperature was -1.6°C (min -20.9°C , max $+14.5^{\circ}\text{C}$), precipitation 86 mm (Figure 1).

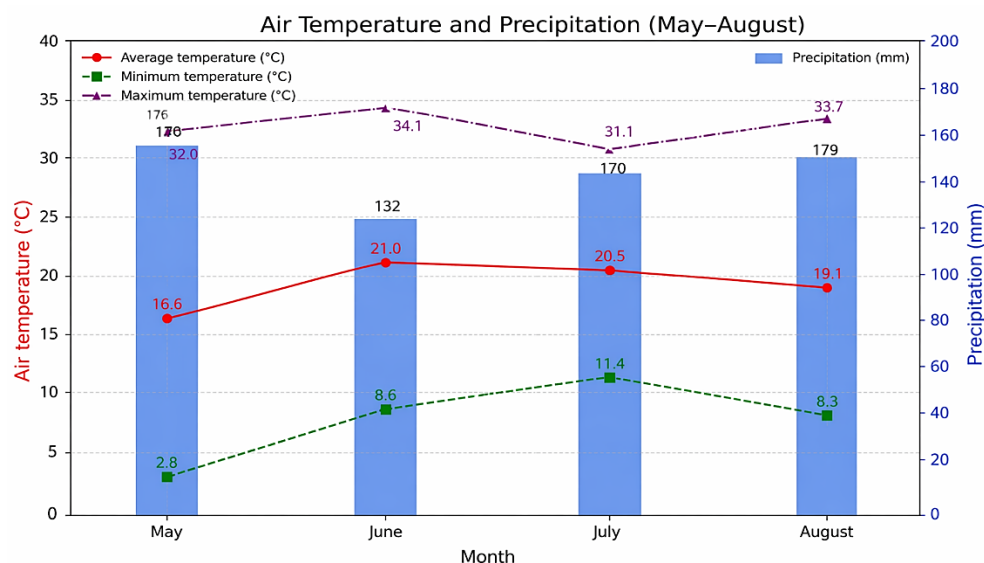


Figure 1 – Air Temperature and Precipitation Dynamics (May–August)

April showed an average of +11.6 °C (min 0.8 °C, max +25.5 °C), precipitation 144 mm. In May, the average temperature was +16.6 °C (min +2.8 °C, max +32.0 °C), precipitation 176 mm. June had an average of +21.0 °C (min 8.6 °C, max +34.1 °C), precipitation 132 mm. July recorded +20.5 °C (min +11.4 °C, max +31.1 °C), precipitation 170 mm. In August, the average was +19.1 °C (min +8.3 °C, max +33.7 °C), precipitation 179 mm. September: average +13.7 °C (min -6.2 °C, max +29.9 °C), precipitation 147 mm. October: average +5.9 °C (min -2.8 °C, max +16.6 °C), precipitation 97 mm. The hydrothermal coefficient (HTC) for the growing season (May–August) was calculated based on temperature and precipitation data, yielding $K \approx 0.21$. This coefficient, representing the ratio of cumulative temperature differences (between mean and minimum temperatures) to the temperature range (maximum minus minimum), indicates a moderately humid and temperate climate, typical of regions with mild to moderately continental conditions. Summer months (May–August) show a wide temperature range (+2.8 °C to +34.1 °C), reflecting warm to hot weather. Minimum temperatures in August (8.3 °C) indicate a relatively mild late summer. Monthly precipitation (86–179 mm) confirms moderate moisture and rainfall presence, particularly in summer. The moderate HTC (~ 0.21) indicates favorable conditions for growing legumes, supporting normal development without excessive stress, promoting high yield and quality, and ensuring sustainable legume production in crop rotations.

Soil samples from 0–20 cm and 20–40 cm layers were analyzed for humus content, nitrate nitrogen, available phosphorus, exchangeable potassium, and pH. The soils are southern chernozems, characterized by low humus content (3.30 %), available phosphorus (24.6 mg/kg), nitrate nitrogen (2.32 mg/kg), and high exchangeable potassium (527 mg/kg). Soil pH was slightly alkaline (7.47). Based on temperature and moisture analysis, optimal sowing dates for legumes were determined (second decade of May), along with application rates for biological agents. Soil bulk density was 1.1–1.2 g/cm³, optimal for legume and cereal growth.

After cultivation, legumes (chickpeas) positively influenced soil agrochemical and physical properties. Symbiotic nitrogen fixation increased nitrate nitrogen in the arable horizon by 15–20 % compared to the control, and humus content rose to 3.6–3.8 %. Improved soil structure and aggregate stability enhanced water-holding capacity by 8–10 %. Cereals (wheat), with developed root systems, promoted topsoil loosening and organic matter accumulation from root residues. Combined legume–cereal rotations stabilized pH to near-neutral values (7.1–7.2) and formed a more robust granular structure. Overall, legume–cereal cultivation improved soil nitrogen and carbon content, stabilized pH, enhanced structure, and increased water retention, thereby improving fertility. To enhance soil biological activity and nitrogen fixation, biological agents were applied. “Rhizovit AKS” inoculated seeds five hours before sowing with *Rhizobium* spp., on a 4×6 m tarpaulin to prevent direct sunlight. The inoculant contained highly effective rhizobial strains on a peat substrate enriched with carbohydrates, vitamins, and micronutrients, applied at 400 g per hectare of seeds. During the growing season, foliar sprays of “Respect” (active ingredients: imidacloprid, pencycuron) were applied at 250 L/ha to suppress pathogenic microflora, protect against bacterial infections, and stimulate nodule formation, phosphorus mobilization, and root development. Additionally, “Baikal M” (250 L/ha) containing lactic acid, photosynthetic, nitrogen-fixing, and other microorganisms, was applied to activate soil microbiological processes. These treatments increased microbial activity in the 0–20 cm soil layer by 20–25 % and raised organic carbon by 0.12–0.15 %, improving decomposition of plant residues and humus formation. Thus, biological agents enhanced soil organic carbon, beneficial microflora, plant nutrition, and overall soil biological activity [12, p. 3]. (Figure 2)





Figure 2 – Phenological stages of chickpea (*Cicer arietinum*)

Phenological observations showed positive effects of biological agents on chickpea growth, development, and yield formation. Field germination ranged from 85.4–91.0 %, indicating favorable growth dynamics during the vegetative period. Economic evaluation of new agronomic practices was conducted to assess yield increases, ecological benefits, and overall sustainability. Production costs were calculated, including seeds, fertilizers, fuel, plant protection, labor, and equipment depreciation. Gross yield was computed as crop productivity $\times$ selling price, net income as gross yield minus costs, and profitability (%) as a production efficiency indicator. Ecological effects were assessed by reduced nutrient loss, decreased fertilizer use, and improved soil structure. Adaptive agronomic measures (optimized sowing dates, green manure, minimal tillage, predictive yield models) reduced production costs by 10–15 %, increased legume yields by 8–12 % and cereals by 6–10 %, and raised net income by 15–20 % compared to conventional practices. Ecologically, integrating legumes reduced mineral fertilizer use by 10–20 %, enhanced soil structure and humus content, minimized degradation and nutrient leaching, and increased the biodynamics of crop rotations. Combined economic and ecological criteria showed that the integrated efficiency of innovative practices increased by 18–25 %, demonstrating high effectiveness [13, p. 4].

Correlation and regression analysis revealed strong positive relationships between yield and net income ($r = 0.86–0.92$). Mathematical processing confirmed significant dependencies of yield on weather conditions and agronomic factors. Regression and predictive models ($R^2 > 0.8$) can guide crop rotation planning, optimizing yield and enhancing agroecosystem biodynamics.

Funding Information: This research has been is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP27509433 Development and evaluation of sustainable crop rotation systems using legumes and cereals to increase the biodynamic efficiency of agroecosystems)»

Conclusion

The results of the study demonstrate that the introduction of legume–cereal crop rotations combined with biological agents significantly improves soil fertility, enhances agroecosystem stability, and increases chickpea yield under the arid and climatically unstable conditions of Northern Kazakhstan. The integration of chickpea into crop rotations activates soil microbiological processes, improves nitrogen availability, and strengthens soil structure and water retention capacity.

Overall, the proposed biologized agronomic practices provide both economic and ecological benefits, ensuring higher productivity, reduced dependence on mineral fertilizers, and long-term sustainable development of agricultural systems under climate change conditions.

REFERENCES:

1. Grigoruk V.V., Klimov E.V. *Razvitie organicheskogo sel'skogo hozyajstva v mire i Kazahstane* [Development of organic agriculture in the world and in Kazakhstan]. Ankara, 2016, 152 p. (In Russian)
2. Melnikova E.A., Ivanov S.P. *Metody' uluchsheniya kachestva pochvy' s ispol'zovaniem bobovo-zlakovy'h kul'tur* [Methods for improving soil quality using legume-cereal crops]. *Zhurnal agronomicheskikh issledovaniy*, 2021, no. 30 (2), pp.145-152. (In Russian)
3. Bennett E.M., Carpenter S.R. *Caraco human impact on the nitrogen cycle and the consequences for agriculture and the environment*. *Environmental Science & Technology*, 2023, vol. 52(12), pp. 6181-6193.
4. Sharma P., Kumar A. *Legume-based Cropping Systems for Sustainable Soil Fertility Management*. *International Journal of Agricultural Science*, 2020, vol. 24(1), pp. 33-47.

5. **Dospehov B.D. Metodika opy'tnogo dela** [Experimental methodology]. Agropromizdat, Moscow, 1985, 350 p. (In Russian)
6. **Yurina A.V. Metodika gosudarstvennogo sortoispy'taniya sel'skohozyajstvenny'h kul'tur.** [Methodology for state variety testing of agricultural crops]. Moscow, Izdatel'stvo «Kolos», 1970. (In Russian)
7. **Mezhgosudarstvenny'j standart 12036-85–12042-80. Semena sel'skohozyajstvenny'h kul'tur** [Seeds of agricultural crops]. Moscow, 2011. (In Russian)
8. **GOST 30178-96. Sy'r'e i produkty' pishhevy'e. Atomno-absorbcionny'j metod opredeleniya toksichny'h e'lementov** [Raw materials and food products. Atomic absorption method for the determination of toxic elements]. Moscow, Standartinform, 2010. (In Russian)
9. **GOST 20929-94 Sy'r'e i produkty' pishhevy'e. Podgotovka prob. Mineralizaciya dlya opredeleniya soderzhaniya toksichny'h e'lementov. Izdanie oficial'noe** [Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization for the determination of toxic element content. Official edition]. Moscow, Standartinform, 2010, 12 p. (In Russian)
10. **Tyurin I.V. Kononova M.M. O novom metode opredeleniya potrebnosti pochvy' v azote.** [About a new method for determining the nitrogen requirement of soil]. *Vestnik "Agrohimicheskie i biohimicheskie issledovaniya"*, 1935, vol.10, iss. 4, pp. 49-56. (In Russian)
11. **Kogut B.M., Milanovskij E.Yu., Hamaturov Sh.A. O metodah opredeleniya soderzhaniya organicheskogo ugleroda v pochvah** [Methods for determining the organic carbon content in soils]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*, 2023, iss. 114, pp. 5-28. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-114-5-28>. (In Russian)
12. **Ansabayeva A. Cultivation of peas, *Pisum sativum* L. in organic farming.** *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 2023, vol. 21, no. 4, pp. 911-919.
13. **Ansabayeva A., Akhmetbekova A. Biological products sway the yield and quality traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a continental climate.** *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 2024, vol. 56, no. 1, pp. 45-53.

Information about the authors:

Ansabayeva Assiya Simbayevna* – PhD, Associate Professor, Department of Agronomy, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., tel.: 87774907779, e-mail: ansabaeva_asiya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2110-2650>.

Makhambetov Murat Zharakovich – PhD, Associate Professor, Department of ecology, K. Zhubanov Aktobe Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 030012, Aktobe, e-mail: makhambetov.murat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8356-296X>.

Baidalin Marden Yersainovich – PhD, Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau State University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87475546495, e-mail: marden_0887@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6403-4662>.

Moskvicheva Yelena Nikolayevna – 2nd-year PhD student, "Crop Production" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., tel.: 87776367040, e-mail: moskva-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4182-3041>.

Ансбаева Асия Симбаевна* – PhD докторы, агрономия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов көш, 47, тел.: 87774907779, e-mail: ansabaeva_asiya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2110-2650>.

Махамбетов Мурат Жаракович – PhD докторы, экология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 030012, Ақтөбе қ., e-mail: makhambetov.murat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8356-296X>.

Байдалин Марден Ерсаинович – PhD, профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 87475546495, e-mail: marden_0887@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6403-4662>.

Москвичева Елена Николаевна – 2-курс докторанты, «Өсімдік шаруашылығы» білім беру бағдарламасы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов көш, 47, тел.: 87776367040, e-mail: moskva-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4182-3041>.

Ансбаева Асия Симбаевна* – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры агрономии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтұрсынова 47, тел.: 87774907779, e-mail: ansabaeva_asiya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2110-2650>

Махамбетов Мурат Жаракович – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры экологии, НАО «Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», Республика Казахстан, 030012, г.Актөбе, e-mail: makhambetov.murat@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8356-296X>.

Байдалин Марден Ерсаинович – PhD, профессор, НАО «Кокшетауский государственный университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87475546495, e-mail: marden_0887@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6403-4662>.

Москвичева Елена Николаевна – докторант 2 курса, образовательная программа «Растениеводство», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтұрсынова 47, тел.: 87776367040, e-mail: moskva-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4182-3041>.

XFTAP 68.35.29

ӨОЖ 631.46:633.16(045)

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621098>

БИОГИДРОГЕЛЬДІҢ ЖАЗДЫҚ АРПА (*HORDEUM VULGARE L.*) ТҰҚЫМДАРЫНЫҢ ӨНГІШТІГІНЕ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

Бостубаева М.Б.* – PhD, аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Жанабергенов А.О. – аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Макенова М.М. – PhD, аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Жұмыста CaCl_2 және лимон қышқылы арқылы торланған КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі биогидрогельдің арпа (*Hordeum vulgare L.*) тұқымдарының өнуіне және өскіндердің ерте өсуіне әсері зерттелді. Тұқымдар құрамында гидрогельдің әртүрлі концентрациялары бар құм толтырылған контейнерлерде өнді: 0, 0,1, 0,25, 0,5 және 0,7 %. Өну энергиясы мен толық өну көрсеткіштері (GP_3 , GP_7), өнуінің интегралдық индексі (GI), орташа өну уақыты (AGT), өскіндердің өміршеңдік индекстері (SVI I, SVI II), сондай-ақ сабақтар мен тамырлардың ұзындығы бағаланды. Төмен және орташа концентрациядағы гидрогельдер (0,1–0,5 %) тұқымдардың өнуін және өскіндердің өсуін ынталандырып, GI және SVI интегралдық көрсеткіштерінің жоғарылауына ықпал ететіні анықталды. 0,25 % концентрациясы ең жоғары өну пайызын және GI мәндерін қамтамасыз етіп, бұл ретте тамыр жүйесі мен жерүсті бөлігінің дамуы біркелкі және тежелу белгілерінсіз жүрді. Гидрогельдің ең жоғары концентрациясы (0,7 %) барлық өміршеңдік көрсеткіштерінің төмендеуіне, орташа өну уақытының ұзаруына, тамырлар мен сабақтардың ұзындығының қысқаруына әкелді, бұл субстратта полимерлік матрицаның артық мөлшері кезінде ауа мен ылғалдың қолжетімділігінің шектелетінін көрсетеді. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі гидрогельдің 0,1–0,5 % оңтайлы концентрациялар диапазонында арпаның ерте өсуін тиімді ынталандыратынын, ал бұл шектен асып кетуі тұқымдардың өнуі мен өсімдіктердің бастапқы дамуына тежеуші әсер етуі мүмкін екенін дәлелдейді.

Түйінді сөздер: жаздық арпа, биогидрогель, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), альгинат, поливинил спирті (ПВС), өнгіштік индексі (GI), өскіндердің тіршілікке қабілеттілік индексі (SVI).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ БИОГИДРОГЕЛЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE L.*)

Бостубаева М.Б.* – PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Жанабергенов А.О. – старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Макенова М.М. – PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

В работе изучено влияние биогидрогеля на основе КМЦ, альгината и ПВС с шивкой CaCl_2 и лимонной кислоты на прорастание и ранний рост проростков ячменя (*Hordeum vulgare L.*). Семена проращивались в контейнерах с песком с содержанием различных концентраций гидрогеля: 0, 0,1, 0,25, 0,5 и 0,7 %. Оценивались энергия и полнота прорастания (GP_3 , GP_7), интегральный индекс прорастания (GI), среднее время прорастания (AGT), индексы жизнеспособности проростков (SVI I, SVI II), а также длина побегов и корней. Установлено, что низкие и средние концентрации гидрогеля (0,1–0,5 %) стимулируют прорастание и рост проростков, повышая интегральные показатели GI и SVI. Концентрация 0,25 % обеспечивала максимальный процент прорастания и наиболее высокие значения GI, при этом развитие корневой системы и надземной части происходило равномерно и без признаков угнетения. Наибольшая концентрация гидрогеля (0,7 %) приводила к снижению всех

показателей жизнеспособности, удлинению среднего времени прорастания и уменьшению длины корней и побегов, что указывает на ограничение доступности воздуха и влаги в субстрате при избыточном содержании полимерной матрицы. В целом результаты свидетельствуют, что гидрогель на основе КМЦ, альгината и ПВС является эффективным средством для стимулирования раннего роста ячменя при оптимальном диапазоне концентраций 0,1–0,5 %, тогда как превышение данного диапазона может оказывать ингибирующее воздействие на прорастание и начальное развитие растений.

Ключевые слова: яровой ячмень, биогидрогель, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), альгинат, поливиниловый спирт (ПВС), индекс прорастания (GI), индекс жизнеспособности проростков (SVI).

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF BIOPOLYMER-BASED HYDROGEL ON SEED GERMINATION OF SPRING BARLEY (*HORDEUM VULGARE L.*)

Bostubayeva M.B. – PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

Zhanabergenov A.O. – Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Makenova M.M. – PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

*The study investigated the effect of a biohydrogel based on CMC, alginate, and PVA crosslinked with CaCl_2 and citric acid on seed germination and early growth of barley (*Hordeum vulgare L.*). Seeds were germinated in sand-filled containers containing different hydrogel concentrations: 0, 0.1, 0.25, 0.5, and 0.7%. Germination energy and final germination percentage (GP_3 , GP_7), germination index (GI), average germination time (AGT), seedling vigor indices (SVI I, SVI II), as well as shoot and root length were evaluated. It was found that low and medium hydrogel concentrations (0.1–0.5%) stimulated germination and early seedling growth, leading to increased integral indices GI and SVI. The 0.25% concentration provided the highest germination percentage and GI values, while root and shoot development remained balanced and showed no signs of inhibition. The highest hydrogel concentration (0.7%) resulted in a decrease in all vigor parameters, prolonged average germination time, and reduced root and shoot length, indicating limited air and water availability in the substrate at excessive polymer content. The results demonstrate that the CMC/alginate/PVA-based hydrogel is effective in stimulating early barley growth within the optimal concentration range of 0.1–0.5%, whereas exceeding this range may exert inhibitory effects on germination and initial plant development.*

Keywords: spring barley, biohydrogel, carboxymethyl cellulose (CMC), alginate, polyvinyl alcohol (PVA), germination index (GI), seedling vigor index (SVI).

Кіріспе. Тұқымдардың өнуі және тамыр мен өскіннің бастапқы жүйесінің қалыптасуы егістіктің өнімді орнығуы мен өсімдіктердің қолайсыз жағдайларға төзімділігін қамтамасыз ететін шешуші кезеңдер болып табылады. Біркелкі және жылдам өнгіштік өсудің жоғары әлеуетін қалыптастырып, өсімдіктердің құрғақшылық, қоректік заттардың жетіспеушілігі және температуралық ауытқулар сияқты стресс факторларына бейімделуін жақсартады [1, 453 б.]. Ең осал кезең – өнудің бастапқы сатысы, бұл кезде тұқымдар су және осмостық стресс әсеріне ұшырайды, ал тұқымдардың өнгіштігі біркелкі болмаса, егістің өнімділігі мен сапасының төмендеуі мүмкін.

Соңғы жылдары ылғалды сақтауды, оны біртіндеп босатуды және макро- мен микроэлементтердің қолжетімділігін арттыруды қамтамасыз ететін гидрогельдер мен тұқымдардың биополимерлі қаптамаларын қолдануға ерекше назар аударылуда. Мұндай технологиялар абиотикалық күйзеліс әсерін жұмсартып, өскіндердің қалыптасуын жеделдетуге мүмкіндік береді, соның нәтижесінде өскіндердің тіршілікке қабілеттілігі мен өнуінің біркелкілігі артады [2, 276 б.]. Карбоксиметилцеллюлоза, натрий альгинаты, каррагинан, хитозан сияқты полимерлердің комбинациялары ылғал ұстау және биосәйкестік қасиеттері бақыланатын құрылымданған гидрогельдерді қалыптастыру үшін жоғары әлеует көрсетеді [3, 62 б., 4, 795 б.].

Гидрогельдерді қолдануға қызығушылықтың артуына қарамастан, гидрогельдің жаздық арпа тұқымдарының өнгіштігі мен бастапқы өсуіне дозалық тәуелді әсері туралы ақпарат аз. Әсіресе өну индексі (GI) және өміршеңдік индекстері (SVI) сияқты интегралды көрсеткіштерді пайдалану тұрғысынан деректер саны шектеулі. Бұл көрсеткіштер өну жылдамдығын, өскіндердің морфологиялық сипаттамаларын және олардың жалпы даму әлеуетін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді. Себебі тек өну пайызын (GP) бағалау өскіндердің өміршеңдігі мен морфологиясына гидрогельдің кешенді әсерін толық көрсетпейді.

Осы тұрғыда өну индексі (Germination Index, GI), өну жылдамдығының индексі (Germination Rate Index, GRI) және өскіндердің өміршеңдік индекстері (Seedling Vigor Index, SVI) сияқты интегралды көрсеткіштерді қолдану ерекше маңызға ие болады. Бұл көрсеткіштер өсімдіктер онтогенезінің бастапқы кезеңдерінде агротехникалық тәсілдер мен материалдардың әсерін неғұрлым объективті бағалауға мүмкіндік береді, өйткені олар тек тұқым өнгіштігін ғана емес, оның динамикасын, сондай-ақ тамыр және өркен

жүйелерінің даму көрсеткіштерін де ескереді. Осыған дейін жүргізілген зерттеулерде GI және SVI көрсеткіштерінің жоғары мәндері танаптық өнгіштіктің жақсы болуымен және көктеу кезеңінде абиотикалық стресс факторларына төзімділігінің артуымен өзара байланыста екені көрсетілген [5, 117393 б., 6, 1833 б.].

Дәнді дақылдар үшін, соның ішінде жаздық арпа (*Hordeum vulgare* L.) үшін, тамыр жүйесінің дамуындағы бастапқы кезең шешуші маңызға ие, өйткені дәл осы кезеңде өскіннің су сіңіру мен минералдық қоректену әлеуеті қалыптасады. Тамыршалардың ұзындығы мен олардың биомассасы күйзеліс әсерін және қолданылатын өсу стимуляторларының тиімділігін сезімтал индикаторлар ретінде қарастырылады [7, 46 б.]. Зерттеулер көрсеткендей, гидрогельдердің оңтайлы концентрациялары тамырлардың ұзаруын ынталандыра алады, бұл ылғалмен қамтамасыз етуі шектеулі жағдайларда өсімдіктердің бейімделу әлеуетін арттырады [8, 735 б.]. Сонымен қатар, гидрогелдің шамадан тыс мөлшері субстраттың аэрациясының төмендеуіне және өскіндердің өсуінің баяулауына әкелуі мүмкін, бұл енгізудің оңтайлы дозаларын таңдаудың қажеттілігін көрсетеді [9, 4725 б.].

Әдебиеттерде гидрогельдердің құрамы мен құрылымына ерекше көңіл бөлінеді. Карбоксиметилцеллюлоза, натрий альгинаты және каррагинан сияқты полисахаридтер негізіндегі биополимерлі гидрогельдер жоғары гидрофильдігімен, биодеградациялану қабілетімен және фитоуыттылығының төмендігімен ерекшеленеді [10, 34 б., 11, 24747 б.]. Бұл құрамдарды кальций иондарымен немесе органикалық қышқылдармен тігу олардың ісіну дәрежесін, механикалық беріктігін және судың босап шығу жылдамдығын реттеуге мүмкіндік береді. Бірқатар авторлар бірнеше биополимерді біріктіру монокомпонентті жүйелермен салыстырғанда гель құрылымының тұрақтылығын және әсер ету уақытын ұзартуды қамтамасыз ететінін атап көрсетеді [12, 11468 б., 13, 24736 б.].

Жаздық арпа және қоңыржай климат аймағына тән басқа дақылдар үшін гидрогельдерді қолдану ылғалды ұстап тұру қабілеті төмен, құмды және қарашірігі аз топырақ жағдайында тиімді екені аталған [14, 25 б.]. Бұл жағдайда гидрогель тұқымдар үшін судың қолжетімділігін арттырып қана қоймай, қоректік элементтер иондарын ұстап тұрып, оларды біртіндеп босататын матрица қызметін атқара алады. Нәтижесінде қоректік заттардың шайылуы азайып, тыңайтқыштарды пайдалану коэффициенті жоғарылайды [15, 2 б.]. Алайда жарияланған жұмыстардың басым бөлігі танаптық немесе вегетациялық тәжірибелерге бағытталған, ал тұқым өнгіштігі мен өркендердің бастапқы өсу қарқынын қарастыратын зертханалық жұмыстар көбіне өнгіштік пайызын бағалаумен ғана шектеледі.

Зерттеудің мақсаты – карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), альгинат және поливинил спирті (ПВС) негізіндегі, Ca^{2+} иондарымен тігілген гидрогелдің жаздық арпа (*Hordeum vulgare* L.) тұқымдарының зертханалық жағдайдағы өнгіштігіне және өскіндердің бастапқы өсу көрсеткіштеріне әсерін бағалау.

Зерттеу міндеттері

1. Биогидрогелдің құмды субстраттағы 0–0,7 % концентрациясына байланысты арпа дәндерінің өнуіне әсерін бағалау.

2. Гидрогелдің әртүрлі концентрацияларының арпа көшеттерінің морфометриялық параметрлеріне және тіршілік қабілеттілігіне (SVI I, SVI II) әсерін анықтау.

3. Биогидрогелдің өсу мен өнудің максималды көрсеткіштерін қамтамасыз ететін оңтайлы концентрациялар ауқымын белгілеу және субстраттағы полимерлі матрицаның мөлшерінің асып кетуі көшеттердің тежелуіне, аэрация мен ылғалмен қамтамасыз етудің шектелуіне әкелетін шекті деңгейді анықтау.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу объекті ретінде жаздық арпаның (*Hordeum vulgare* L.) «Карабалыкский» сортының тұқымдары пайдаланылды. Аталған сорт Қазақстанның солтүстік және орталық аймақтарында кеңінен аудандастырылған және құрғақшылыққа салыстырмалы төзімділігімен, тұрақты далалық және зертханалық өнгіштігімен сипатталады. Бұл ерекшеліктері оны күрт континенталды климат жағдайларында өсіруге бейім етеді. Сорттың морфогенезінің біркелкілігі мен өскіндердің бастапқы даму қарқынының тұрақтылығы гидрогельдердің өсімдік өсуіне әсерін модельдік жағдайда бағалау үшін ғылыми тұрғыдан негізделген таңдау болып табылады. Тәжірибеге дейін тұқымдар +4 – +6 °C температурада, ылғалдылығы 12–14% деңгейінде, қараңғы және құрғақ жағдайда сақталды. Тұқымдар өлшемі мен массасы бойынша біркелкі, көзге көрінетін зақымданулары жоқ болатындай таңдалды. Тұқымдар алдын ала калий перманганатының ерітіндісінде 5 минут бойы залалсыздандырылып, сумен жуылды.

Гидрогель дайындау әдісі. Биоыдырайтын гидрогель гранулаларын дайындау үшін 20–25 °C температуралы 60 мл дистилденген суға 0,7 г карбоксиметилцеллюлоза және 0,7 г натрий альгинаты қосылып, біртекті масса алынғанға дейін үзіліссіз араластырылды. 10 мл суда 0,5 г ПВС ерітіліп, негізгі қоспаға қосылды және 10 минут араластырылды. Қоспа су ваннасында 60 °C температурада 15–20 минут қыздырылды. Алдын ала торлануды бастау үшін 0,2 г лимон қышқылы енгізіліп, 5 минут араластырылды, содан кейін қоспа бөлме температурасында салқындатылды.

0,1 % кальций хлориді ерітіндісіне полимерлі масса 1–2 мм диаметрлі сопло арқылы экструзияланып, үздіксіз жіп түрінде енгізілді. Жіптер 20–25 °C температурада 6 сағат ерітіндіде ұсталып, иондық тігілу процесі жүзеге асырылды. Жіпшелер дистилденген сумен жуылып, 3–5 мм ұзындықтағы цилиндрлік гранулаларға кесілді. Дайын гранулалар 50 °C температурада конвекциялық кептіргіште 12 сағат кептірілді.

Тұқымдарды өндіру барысы. Тұқымдар гидрогелдің әртүрлі концентрациялары алдын ала араластырылған 400 г електен өткізілген құммен толтырылған пластик контейнерлерде өндірілді. Гидрогелдің келесі концентрациялары қолданылды: 0,1%, 0,2%, 0,5% және 0,7%. Бақылау нұсқасындағы

контейнерлерге гидрогель салынбады. Гидрогель концентрациялары алдын ала жүргізілген полимерлік материалдардың су сіңіру және ісіну қасиеттері туралы әдеби деректерге [22-25] және агрономиялық тәжірибеде қолданылатын төмен–орта–жоғары дозалық диапазон принципіне сәйкес таңдалды. Гидрогельдің су ұстау және біртіндеп беру қасиеттері далалық жағдайда топырақ ылғалдылығын тұрақтандырудың механизмі ретінде қарастырылады. Осыған байланысты зертханалық нәтижелер гидрогельдердің нақты мөлшерін далалық жағдайда қолдану үшін бастапқы бағалау ретінде қарастырылады.

Әрбір концентрация үш қайталанымда сыналды, әр контейнерге 20 тұқым салынды. Барлық контейнерлерге бастапқыда 60 мл су құйылып, кейін құмның кеуіп кетуін болдырмау мақсатында тәулігіне 30 мл су қосу арқылы ылғалдылық тұрақтылығы сақталды.

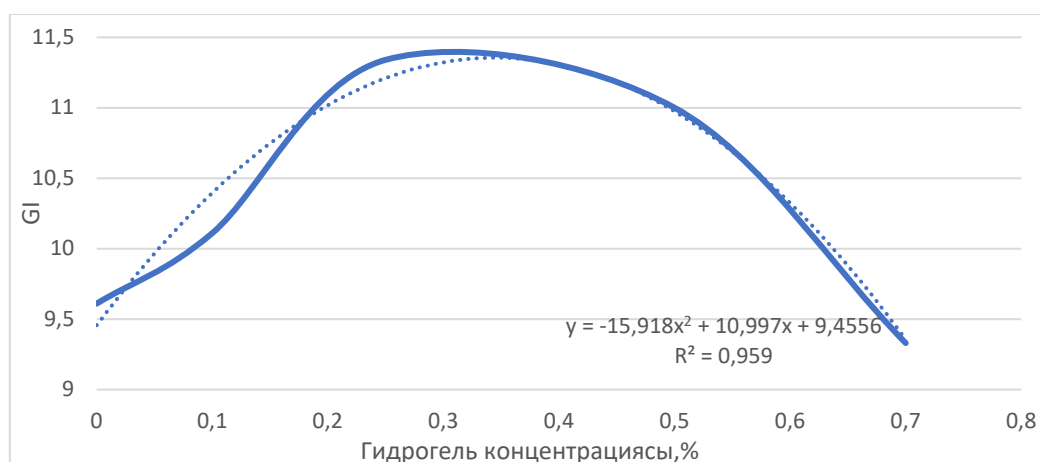
Тұқым өнгіштігін бағалау. Тұқымдардың өнгіштігі 7 күн бойы күнделікті есептелді. Тұқымның зертханалық өнуін анықтау MEMCT 12038-84 сәйкес жүргізілді. Есептелген көрсеткіштер: өнгіштік энергиясы (GP_3 , %) – үшінші күнге дейін өнген тұқымдардың пайызы, толық өнгіштік (GP_7 , %) – жетінші күнге дейін өнген тұқымдардың пайызы. Өнгіштік индексі (GI) – Maguire JD, 1962 [16, 176 б.] формуласымен есептелді. Орташа өну уақыты (AGT, күн) – әрбір тұқымның өну күндерін ескеріп алынған салмақты орташа мән ретінде есептелді.

Өскіндердің өміршеңдігін бағалау. Жетінші күні өркендер мен тамырлардың ұзындығын өлшеу MEMCT 12038-84 сәйкес жүргізілді. Осы деректер негізінде есептелген көрсеткіштер: өміршеңдік индексі SVI I – GP_7 көрсеткіші мен өскіндердің орташа ұзындығының көбейтіндісі; өміршеңдік индексі SVI II – GP_7 көрсеткіші мен өркендер мен тамырлардың жалпы ұзындығының көбейтіндісі [17, 631 б.]. Өміршеңдік индекстері Anderson J.D. (1973) [17, 631 б.] әдістемесіне сәйкес есептелді.

Статистикалық өңдеу. Барлық тәжірибелер үш қайталанымда жүргізілді, әр қайталанымда 20 тұқымнан пайдаланылды. Барлық өлшеулер бір тәжірибелік цикл шегінде, бірдей зертханалық жағдайларда, зертханалық жағдайлардағы ішкі тұрақтылық деңгейінде бағаланды. Деректер орташа мәндер $\pm$ стандартты ауытқу (SD) түрінде көрсетілді. Статистикалық талдау бір факторлы дисперсиялық талдауды (ANOVA) қамтып, әр концентрациялар арасындағы маңызды айырмашылықтарды анықтау үшін Тьюки тесті қолданылды ($p < 0,05$).

Нәтижелер. Биогидрогельді енгізу тұқымдардың өнгіштігіне айқын дозалық тәуелді әсер көрсетті. Бақылау тобында GP_3 және GP_7 көрсеткіштері 86,1 % болды, бұл тұқымдардың бастапқы өнгіштігі жоғары екенін көрсетеді. Ең жоғары өнгіштік көрсеткіші гидрогель концентрациясы 0,25 % болған кезде байқалды, бұл нұсқада GP_3 және GP_7 97,2 %-ға жетті (Кесте 1). Гидрогельдің 0,1 % концентрациясында GP көрсеткіштері бақылаудан сәл жоғары болып, 0,5 % концентрациясында орташа өсім байқалды. Ал ең жоғары 0,7 % концентрациясы GP_3 және GP_7 көрсеткіштерін 77,8 %-ға дейін төмендетіп, өнгіштіктің тежелуін тудырды.

GI нәтижелері гидрогель концентрациясының өнгіштік индексіне айқын дозалық тәуелді әсерін көрсетеді (Сурет 1). Бақылау тобында GI мәні 9,61 тең болды. Ең төмен 0,1 % концентрацияда GI 10,11-ге жетіп, бақылауға қарағанда 5,2 % артты. 0,25 %, 0,5% концентрациялы нұсқаларда GI ең жоғары мәнге жетіп, бақылаудан 18,1 % дейін артты. Бұл гидрогельдің тұқымдардың өнуін оңтайлы ынталандыратын концентрациялар екенін көрсетеді. 0,7% жоғары концентрацияда GI сәл төмендеп, бақылаудан сәйкесінше 2,9 % төмен болды. Бұл гидрогельдің жоғары мөлшері өнгіштік процесін тежейтінін дәлелдейді.



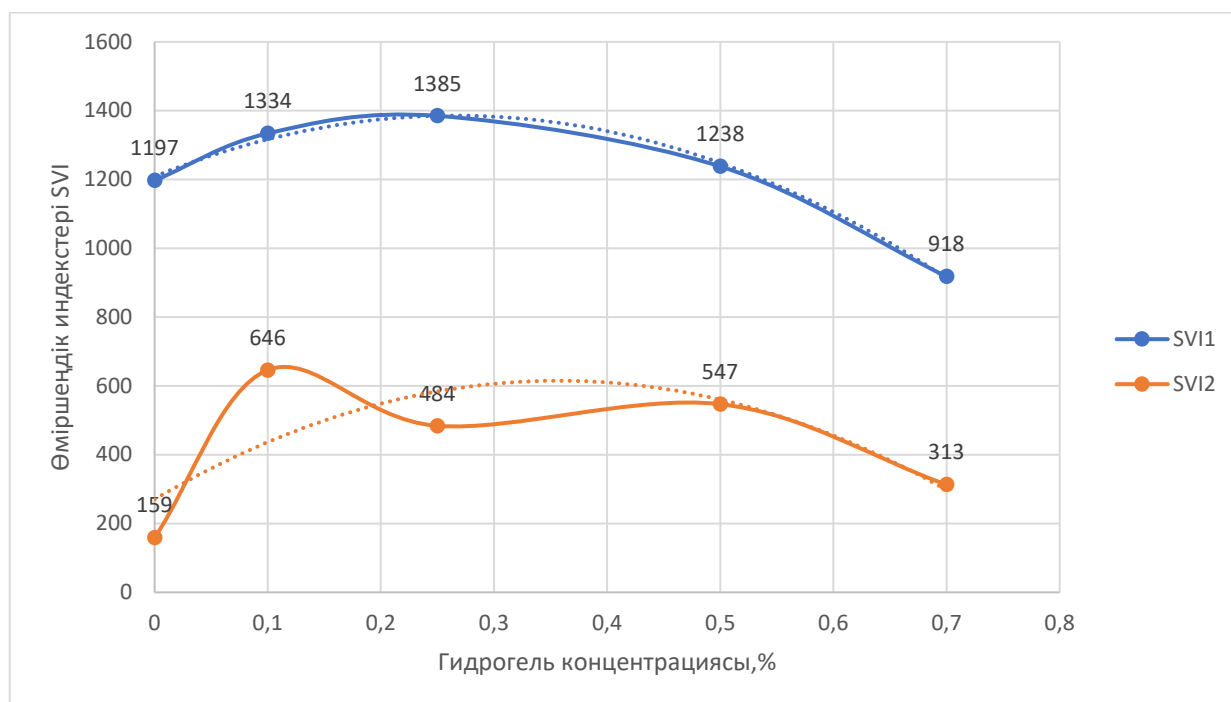
1 сурет – GI индексінің гидрогель концентрациясына тәуелділігінің графигі

Өскіндердің өміршеңдік индекстері (SVI) – өнгіштік жылдамдығы, өнген тұқым пайызы және өскіндердің морфометриялық сипаттамаларын біріктіретін интегралды көрсеткіш, ол тұқымның жалпы даму әлеуетін бағалауға мүмкіндік береді. Осы зерттеуде SVI екі түрі қолданылды: SVI I, GP_7 көрсеткішін өскіндердің орташа ұзындығына көбейту арқылы есептеледі, және SVI II, өркендер мен тамырлардың жалпы ұзындығын ескеретін көрсеткіш.

Гидрогельдің әртүрлі концентрациялары арпа өскіндерінің өміршеңдігіне айтарлықтай әсер етеді (Сурет 2). SVI I ең жоғары мәнге гидрогельдің 0,25 % концентрациясында жетті, бұл нұсқа өнгіштіктің жоғары пайызымен ($GP_7 = 97,2\%$) және өркендердің айтарлықтай ұзындығына (14,3 см) байланысты. Бұл гидрогельдің аталған концентрациясында ылғалдылық режимі мен қоректік заттардың қолжетімділігі оңтайлы түрде қамтамасыз етілгенін көрсетеді.

SVI II өркендер мен тамырлардың жалпы өсуін көрсететін индикатор, ең жоғары мәнге 0,1 % концентрациясында жетті, бұл өскіндердің морфологиялық дамуы, әсіресе тамыр жүйесінің (тамыр ұзындығы 15,25 см) ынталандырылғанын білдіреді. 0,25 % концентрациясында да SVI II көрсеткіші жоғары болып, өркендер мен тамыршалардың теңдестірілген дамуын қамтамасыз етті. Яғни орташа концентрациядағы гидрогель тұқымдардың толыққанды тамыр және өркен жүйесін қалыптастыруға қолайлы жағдай туғызатынын көрсетеді, бұл өсімдіктердің даму кезеңінің ерте сатыларында маңызды болып табылады.

Гидрогельдің жоғары концентрациясында (0,7 %) екі индекстің де төмендеуі бақыланды. Оның себебі гидрогельдің үлкен концентрациясы жоғары тұтқырлықтың қалыптастыруы, оттегінің қолжетімділігінің төмендеуі немесе осмотикалық стресс болуы мүмкін. Берілген әсер тамырлар мен өркендердің өсуін шектеп, өскіндердің жалпы өміршеңдігін баяулатуы мүмкін.



2 сурет – Жаздық арпа өскіндерінің SVI I және SVI II көрсеткіштерін салыстыру

Өскіндердің өркендері мен тамырларының ұзындығы гидрогель концентрациясына тәуелді болды. Ең ұзын өркендер (15,0 см) және тамырлар (15,25 см) 0,1 % концентрациясында байқалды. 0,25 % концентрациясында өркен ұзындығы 14,3 см, ал тамыр ұзындығы 13,7 см болып, өскіндердің теңдестірілген дамуын қамтамасыз етті. 0,5 % концентрациясында тамыр ұзындығы 14,94 см сәл артса да, өркен ұзындығы 13,5 см-ге дейін азайды. Ең жоғары концентрация (0,7 %) өркен ұзындығын 11,8 см, тамыр ұзындығын 10,89 см-ге дейін төмендетіп, өсу процесін тежеді (Кесте 1). Гидрогельдің төмен және орташа концентрациялары тамыр және өркен жүйесін ынталандыруға қолайлы болса, жоғары концентрация өскіндердің өсуін тежеуші әсер көрсетеді.

1 кесте – гидрогельмен өңдеу кезіндегі өнгіштік пен өскіндердің морфометриясы

Гидрогель концентрациялары (%)	GP_3 (%)	GP_7 (%)	AGT (күн)	Өркен ұзындығы (см)	Тамырша ұзындығы (см)
0	86,1	86,1	1,16	$12,7 \pm 3,8$	$11,0 \pm 3,9$
0,1	86,1	88,9	1,06	$15,0 \pm 3,2^*$	$15,25 \pm 3,5^*$
0,25	97,2	97,2	1,06	$14,3 \pm 3,1^*$	$13,7 \pm 3,0^*$
0,5	91,7	91,7	1,0	$13,5 \pm 3,4^*$	$14,94 \pm 3,6^*$
0,7	77,8	77,8	1,0	$11,8 \pm 3,7$	$10,89 \pm 3,8$

Ескерту: * – көрсеткіштер бақылаудан статистикалық тұрғыдан маңызды түрде айырмашылық көрсетеді ($p < 0,05$)

Морфометриялық көрсеткіштерді талдау барысында гидрогельді қолдану өркендердің өсуіне айтарлықтай әсер етті, алайда өсу сипаты оның концентрациясына байланысты болды. Бақылау нұсқасында өркендердің орташа ұзындығы $12,7 \pm 3,8$ см болды, бұл өркендердің гидрогельсіз табиғи өсу деңгейін көрсетеді. 0,1 % концентрацияда өркендердің өсуін ынталандыру деңгейі ең айқын байқалды. Өркендер ұзындығы $15,0 \pm 3,2$ см-ге дейін артты, бұл көрсеткіш бақылауға қарағанда шамамен 18 % артық. Берілген ұлғаю статистикалық тұрғыдан маңызды болды ($p < 0,05$), яғни тұқымдардың ылғалмен қамтамасыз етілу жағдайлары жақсарғанын, өсу аймағында жасушалық бөліну мен ұзару қарқынының жоғарылағанын көрсетуі ықтимал. 0,25 % концентрацияда сабақтардың ұзындығы да бақылауға қарағанда айтарлықтай жоғары болды. Алынған көрсеткіш 0,1 % нұсқасына қарағанда сәл төмендеу байқалғанымен, бақылаудан шамамен 13 % жоғары болып, осы концентрация диапазонында ынталандырушы әсердің сақталғанын білдіреді. Гидрогель концентрациясын 0,5 % дейін арттырғанда оң әсердің әлсіреуі байқалды. Алайда өркендердің орташа ұзындығы әлі де бақылаудан статистикалық тұрғыдан жоғары болды ($p < 0,05$). Бұл субстраттағы аэрацияның шектелуін немесе полимер фазасының жоғары мөлшерінде оттегінің қолжетімділігінің төмендеуін көрсетуі мүмкін. Ең жоғары зерттелген концентрацияда сабақтардың ұзындығы $11,8 \pm 3,7$ см-ге дейін төмендеп, бақылау деңгейінен төмен болды. Бақылаумен статистикалық айырмашылықтың болмауы ынталандырушы әсерден бейтарап немесе әлсіз тежеуші әсерге ауысқанын көрсетеді, бұл артық ылғалдың түзілуі мен тамыр аймағында газ алмасудың нашарлауымен байланысты болуы ықтимал.

Тамыршалардың өсуі өркенге қарағанда гидрогельдің әсеріне сезімтал болып шықты. Бақылау нұсқасында тамыршалардың орташа ұзындығы $11,0 \pm 3,9$ см болды. 0,1 % концентрациядағы гидрогель енгізілген кезде тамыршалардың ұзындығы ең жоғары деңгейге жетіп, бақылауға қарағанда шамамен 39 % өсуге сәйкес келеді. Бұл айырмашылық статистикалық тұрғыдан маңызды болды ($p < 0,05$), яғни тамыр түзілуіне жағдайлардың едәуір жақсарғанын, соның ішінде су қамтамасыз ету тұрақтылығы мен ылғалдылық стрессінің төмендегенін көрсетеді. 0,25 % концентрацияда тамырлардың ұзындығы бақылау деңгейінен статистикалық тұрғыдан жоғары болды ($p < 0,05$). 0,5 % концентрацияда тамырлардың ұзындығы $14,94 \pm 3,6$ см-ге дейін артты, бұл максималды мәндерге жақын болып, тамырларға осы мөлшерде айқын тежегіш әсердің жоқтығын көрсетеді. Бұл тамырлардың жоғары ылғалдылық жағдайларына өркендерге қарағанда жақсы бейімделу қабілетімен байланысты болуы мүмкін. Алайда 0,7 % концентрацияда тамырлардың ұзындығы $10,89 \pm 3,8$ см-ге дейін күрт төмендеп, бақылау деңгейіне сәйкес келіп, статистикалық айырмашылық байқалмады. Мұндай динамика гидрогельдің артық мөлшері тамыр жүйесінің дамуына теріс әсер ететінін, субстраттың артық ылғалдануы мен оттегі мөлшерінің шектелуі салдарынан болуы мүмкін.

Талқылау. Осы зерттеуде алынған нәтижелер КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі биогидрогельдің арпа тұқымдарының өнуіне, өскіндердің ерте өсуіне және өміршеңдігіне айқын концентрацияға тәуелді әсер ететінін көрсетті. Бұл деректер гидрогельдер мен суперабсорбентті полимерлердің (SAP) ауыл шаруашылығында қолданылуына арналған көптеген алдыңғы зерттеулердің нәтижелерімен жалпы алғанда сәйкес келеді, алайда бірқатар ерекшеліктерді де айқындайды.

Көптеген авторлар гидрогельдердің тұқымдардың өнгіштігін арттырудағы негізгі механизмі олардың жоғары су сіңіру және суды біртіндеп бөлу қабілетіне байланысты екенін көрсеткен [18, 133603 б., 19, 24731 б.]. Берілген зерттеуде гидрогельдің 0,25 % концентрациясында GP_3 және GP_7 көрсеткіштерінің 97,2 %-ға дейін жоғарылауы осы тұжырымды толық растайды. Ұқсас нәтижелер рапс пен бидай тұқымдарына жүргізілген тәжірибелерде де алынған, онда хитозан мен целлюлоза негізіндегі гидрогельдер тұқымдардың біркелкі өнуін қамтамасыз еткені көрсетілген [20, 198 б., 21, 133602 б.].

GI көрсеткішінің орташа концентрацияларда (0,25–0,5 %) айтарлықтай артуы гидрогельдің өну жылдамдығына оң әсер ететінін дәлелдейді. Өнгіштік индексі тұқымның физиологиялық күйін сипаттайтын сезімтал көрсеткіш ретінде қарастырылады, және біздің деректерде GI-дің 18 %-ға дейін артуы гидрогельдің тұқымның бастапқы метаболизмін жеделдететінін көрсетеді. Бұл нәтиже Montesano et al. (2015) еңбегінде келтірілген деректермен сәйкес келеді, онда гидрогель қолдану тұқымдардың өну фазасында су стрессін төмендететіні көрсетілген [22, 455 б.].

Өскіндердің өміршеңдік индекстері (SVI I және SVI II) бойынша алынған нәтижелер де басқа зерттеулермен үйлеседі. Біздің зерттеуде SVI I-дің 0,25 % концентрацияда, ал SVI II-нің 0,1 % концентрацияда ең жоғары мәндерге жетуі гидрогельдің әртүрлі морфологиялық компоненттерге әрқилы әсер ететінін көрсетеді. Ұқсас құбылыс Albalasmeh et al. (2022) еңбегінде сипатталған, онда гидрогельдердің төмен мөлшерлері тамыр жүйесінің дамуын, ал орташа мөлшерлері өскіннің жалпы өміршеңдігін күшейтетіні көрсетілген [23, 522 б.].

Морфометриялық көрсеткіштерді салыстырмалы талдау тамыр жүйесінің гидрогель әсеріне өркендерге қарағанда анағұрлым сезімтал екенін көрсетті. Тамыр ұзындығының 0,1 % концентрацияда 39 %-ға дейін артуы тамыр аймағында судың қолжетімділігінің жоғарылауымен және жасушалардың бөлінуі мен созылуының күшеюімен байланысты болуы мүмкін. Бұл нәтиже Wu et al. (2024) зерттеулерінде келтірілген деректермен сәйкес келеді, онда гидрогельдер тамыр морфогенезін ынталандырып, өсімдіктің су мен қоректік заттарды сіңіру қабілетін арттыратыны көрсетілген [24, 3500 б.].

Берілген зерттеудің маңызды ерекшелігі – гидрогельдің жоғары концентрациясының (0,7 %) теріс әсерінің айқын көрсетілуі. Көптеген еңбектерде гидрогельдердің оң әсері басым сипатталып, олардың

артық мөлшерінің ықтимал кері әсерлері шектеулі түрде ғана талқыланады. Зерттеу барысында алынған деректерде жоғары концентрация GP, GI, SVI көрсеткіштерінің төмендеуімен, сондай-ақ өркен мен тамыр ұзындықтарының қысқаруымен сипатталды. Мұндай әсер Oriquiriza et al. (2013) көрсеткендей, субстраттың артық ылғалдануына, газ алмасудың нашарлауына және тамыр аймағында гипоксиялық жағдайлардың қалыптасуына байланысты болуы мүмкін [25, 719 б.].

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер биогидрогельдердің арпа тұқымдарының ерте даму кезеңінде тиімді агротехнологиялық құрал бола алатынын растайды және бұл тиімділік олардың концентрациясына тікелей тәуелді екенін көрсетеді. Төмен және орташа концентрациялар (0,1–0,25 %) тұқымдардың өнуін, өскіндердің өміршеңдігін және морфологиялық дамуын ынталандырады, ал жоғары концентрациялар (0,7 %) керісінше, өсу процестерін тежейді. Бұл қорытындылар гидрогельдерді ауыл шаруашылығында қолдану кезінде олардың мөлшерін ғылыми негізде оңтайландыру қажеттігін көрсетеді және болашақта далалық жағдайларда ұзақ мерзімді зерттеулер жүргізудің маңыздылығын айқындайды.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі гидрогельді қолдану тұқымдардың өнуіне, өскіндердің ерте дамуына және өсімдіктердің өміршеңдігіне айқын дозалық тәуелді әсер ететінін көрсетті. Гидрогельдің ең тиімді концентрациялары 0,1–0,25 % аралығында болып, бұл жағдайда өнгіштік пайызы 97,2 %-ға дейін артты, өну процесі жеделдеді және GI индексі жоғарылады, сондай-ақ SVI I және SVI II көрсеткіштерінің максималды мәндерімен сипатталатын өскіндердің морфологиялық дамуы ынталандырылды, өркендер мен тамырлардың орташа ұзындығы ұлғайды.

Гидрогельдің жоғары концентрациясы өскіндердің өнгіштігі мен өміршеңдік көрсеткіштерінің төмендеуіне әкелді, бұл жағдай осмотық стресс пен орта өткізгіштігінің төмендеуінен болуы ықтимал. КМЦ, альгинат және ПВС негізіндегі гидрогель тұқымдардың өнгіштігін арттыруға, өнуін жеделдетуге және толыққанды тамыр және өркен жүйесінің қалыптасуына ықпал ететін тиімді құрал болып табылады. Практикалық қолдану үшін оңтайлы концентрация диапазоны 0,1–0,25 % болып табылады, бұл өнгіштіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді.

Қаржыландыру. Зерттеулер 2025-2027 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша жас ғалымдарды гранттық қаржыландыруға арналған «Агроөнеркәсіптік кешенді тұрақты дамыту» басым бағыты бойынша ЖТН АР27508053 «Климаттың өзгеруі жағдайында астық дақылдарының күйзелісін төмендету үшін биобидырайтын гидрогельді әзірлеу және сынақтан өткізу» тақырыбындағы жобаның қаржылық қолдауы бойынша жүргізілді.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Reed R. C., Bradford K. J., Khanday I. **Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate** [Text] / Reed R. C., Bradford K. J., Khanday I. // *Heredity*. – 2022. – Т. 128. – №. 6. – С. 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>.
2. Agbna G. H. D., Zaidi S. J. **Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review** [Text] / Agbna G. H. D., Zaidi S. J. // *Gels*. – 2025. – Т. 11. – №. 4. – С. 276. <https://doi.org/10.3390/gels11040276>.
3. De Guzman J. et al. **Synthesis and characterization of ionically-crosslinked κ-carrageenan/sodium alginate/carboxymethyl cellulose hydrogel blends for soil water retention and fertilizer release** [Text] / De Guzman J. // *Solid State Phenomena*. – 2020. – Т. 304. – С. 59-65. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.304.59>.
4. Aydinoglu D., Karaca N., Ceylan Ö. **Natural carrageenan/psyllium composite hydrogels embedded montmorillonite and investigation of their use in agricultural water management** [Text] / Aydinoglu D., Karaca N., Ceylan Ö. // *Journal of Polymers and the Environment*. – 2021. – Т. 29. – №. 3. – С. 785-798.
5. Yin X. et al. **Regulating association strength between quaternary ammonium chitosan and sodium alginate via hydration** [Text] / Yin X. // *Carbohydrate Polymers*. – 2021. – Т. 255. – С. 117390. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01914-5>.
6. Hasanović M., Durmić-Pašić A., Karalić E. **Seed priming beyond stress adaptation: Broadening the agronomic horizon** [Text] / Hasanović M., Durmić-Pašić A., Karalić E. // *Agronomy*. – 2025. – Т. 15. – №. 8. – С. 1829. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117390>.
7. Poorter H. et al. **Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control** [Text] / Poorter H. // *New phytologist*. – 2012. – Т. 193. – №. 1. – С. 30-50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>.
8. Buitrago-Arias C. et al. **Analysis of the growth of hydrogel applications in agriculture: A review** [Text] / Buitrago-Arias C. // *Gels*. – 2025. – Т. 11. – №. 9. – С. 731. <https://doi.org/10.3390/gels11090731>.
9. Adjuik T. A. et al. **The impacts of bio-based and synthetic hydrogels on soil hydraulic properties: A review** [Text] / Adjuik T. A. // *Polymers*. – 2022. – Т. 14. – №. 21. – С. 4721. <https://doi.org/10.3390/polym14214721>.
10. Shanmugavel D., Solorza-Feria O., Kamaraj S. K. **Current trends in biopolymer-based hydrogels for use in agriculture** [Text] / Shanmugavel D., Solorza-Feria O., Kamaraj S. K. // *Biopolymeric Nanoparticles for Agricultural Applications*. – 2024. – С. 27-57. https://doi.org/10.1007/978-3-031-68834-8_2.

11. Tariq Z. et al. **Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding** [Text] / Tariq Z. //RSC advances. – 2023. – T. 13. – №. 35. – C. 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>.
12. Sinad K. V. G., Ebubechukwu R. C., Chu C. K. **Recent advances in double network hydrogels based on naturally-derived polymers: synthesis, properties, and biological applications** [Text] / Sinad K. V. G., Ebubechukwu R. C., Chu C. K. //Journal of Materials Chemistry B. – 2023. – T. 11. – №. 48. – C. 11460-11482. <https://doi.org/10.1039/D3TB00773A>.
13. Gronau G. et al. **A review of combined experimental and computational procedures for assessing biopolymer structure–process–property relationships** [Text] / Gronau G. //Biomaterials. – 2012. – T. 33. – №. 33. – C. 8240-8255. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.06.054>.
14. Piccoli I. et al. **Hydrogels for agronomical application: from soil characteristics to crop growth: a review** [Text] / Piccoli I. //Agronomy for Sustainable Development. – 2024. – T. 44. – №. 2. – C. 22. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00958-4>.
15. Park J., Guan W., Yu G. **Smart Hydrogels for Sustainable Agriculture** [Text] / Park J., Guan W. //EcoMat. – 2025. – T. 7. – №. 4. – C. e70011. <https://doi.org/10.1002/eom2.70011>.
16. Maguire J.D. **Speed of germination – Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** [Text] / Maguire J.D. //Crop Sci 2. – 1962. – C.176-177.
17. Abdul-Baki A.A., Anderson J.O. **Vigour determination of soybean seed by multiplecriteria.** /Abdul-Baki A.A., Anderson J.O. // Crop Science. – 1973. – T. 13. – C.630 – 633. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>.
18. Qin C. C. et al. **Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions** [Text] / Qin C. C //Journal of Cleaner Production. – 2022. – T. 370. – C. 133602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133602>.
19. Tariq Z. et al. **Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding** [Text] / Tariq Z. //RSC advances. – 2023. – T. 13. – №. 35. – C. 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>.
20. Tang H. et al. **Application of chitin hydrogels for seed germination, seedling growth of rapeseed** [Text] / Tang H. //Journal of plant growth regulation. – 2014. – T. 33. – №. 2. – C. 195-201. <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9361-5>.
21. Qin C. C. et al. **Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions** [Text] / Qin C. //Journal of Cleaner Production. – 2022. – T. 370. – C. 133602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133602>.
22. Montesano F.F. et al. **Biodegradable superabsorbent hydrogel increaseswater retention properties of growing media and plant growth** [Text] / Montesano F. F. //Agriculture and agricultural science procedia. – 2015. – T. 4. – C. 451-458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>.
23. Albalasmeh A.A. et al. **Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region** [Text] / Albalasmeh A. A.//Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. – 2022. – T. 21. – №. 8. – C. 518-524. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.03.001>.
24. Wu Q. et al. **Engineering rapeseed germination and root growth with mechanical strength of polysaccharide hydrogel** [Text] / Wu Q. //ACS Applied Bio Materials. – 2024. – T. 7. – №. 5. – C. 3496-3505. <https://doi.org/10.1021/acsabm.4c00416>.
25. Orikiriza L.J. B. et al. **Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress** [Text] / Orikiriza L. J.//Journal of Environmental Protection. – 2013. – T.4. – №. 7. – C.713-721 <https://doi.org/10.4236/jep.2013.47082>.

REFERENCES:

1. Reed R.C., Bradford K.J., Khanday I. **Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate.** *Heredity*, 2022, vol.54, pp. 450-459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>.
2. Agbna G.H.D., Zaidi S.J. **Hydrogel Performance in Boosting Plant Resilience to Water Stress—A Review.** *Gels*, 2025, vol. 11, art. 276. <https://doi.org/10.3390/gels11040276>.
3. De Guzman J., et al. **Synthesis and characterization of ionically-crosslinked κ-carrageenan/sodium alginate/carboxymethyl cellulose hydrogel blends for soil water retention and fertilizer releas.** *Solid State Phenomena*, 2020, vol. 304, pp. 59-65. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.304.59>.
4. D. Aydinoglu N., Karaca Ö. **Natural carrageenan/psyllium composite hydrogels embedded montmorillonite and investigation of their use in agricultural water management.** *Journal of Polymers and the Environment*, 2021, vol. 29, pp. 785-798.
5. Yin X., et al. **Regulating association strength between quaternary ammonium chitosan and sodium alginate via hydration.** *Carbohydrate Polymers*, 2021, vol. 255, art. 117390. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01914-5>.
6. Hasanović M., Durmić-Pašić A., Karalija E. **Seed priming beyond stress adaptation: Broadening the agronomic horizon.** *Agronomy*, 2025, vol. 15, art. 1829. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117390>.

7. Poorter H., et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New phytologist*, 2012, vol. 193, pp. 30-50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>.
8. Buitrago-Arias C., et al. Analysis of the growth of hydrogel applications in agriculture: A review, *Gels*, 2025, vol. 11, art. 731. <https://doi.org/10.3390/gels11090731>.
9. Adjuik T. A., et al. The impacts of bio-based and synthetic hydrogels on soil hydraulic properties: A review. *Polymers*, 2022, vol. 14, p. 4721. <https://doi.org/10.3390/polym14214721>.
10. Shanmugavel D., Solorza-Feria O., Kamaraj S. K. Current trends in biopolymer-based hydrogels for use in agriculture. *Biopolymeric Nanoparticles for Agricultural Applications*, 2024, pp. 27-57. https://doi.org/10.1007/978-3-031-68834-8_2.
11. Tariq Z., et al. Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC advances*, 2023, vol. 13, pp. 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>.
12. Sinad K.V.G., Ebubechukwu R.C., Chu C.K. Recent advances in double network hydrogels based on naturally-derived polymers: synthesis, properties, and biological applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 2023, vol. 11, pp. 11460-11482. <https://doi.org/10.1039/D3TB00773A>.
13. Gronau G., et al. A review of combined experimental and computational procedures for assessing biopolymer structure–process–property relationships. *Biomaterials*, 2012, vol. 33, pp. 8240-8255. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.06.054>.
14. Piccoli I., et al. Hydrogels for agronomical application: from soil characteristics to crop growth: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 2024, vol. 44, art. 22. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00958-4>.
15. Park J., Guan W., Yu G. Smart Hydrogels for Sustainable Agriculture. *EcoMat*, 2025, vol. 7, art. e70011. <https://doi.org/10.1002/eom2.70011>.
16. Maguire J.D. Speed of germination – Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci* 2, 1962, pp.176-177.
17. Abdul-Baki A.A., Anderson J.O. Vigour determination of soybean seed by multiplecriteria. *Crop Science*, 1973, vol. 13, pp.630 – 633. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>.
18. Qin C.C. et al. Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions. *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 370, art. 133602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133602>.
19. Tariq Z., et al. Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC advances*, 2023, vol. 13, pp. 24731-24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>.
20. Tang H., et al. Application of chitin hydrogels for seed germination, seedling growth of rapeseed. *Journal of plant growth regulation*, 2014, vol. 33, pp. 195-201. <https://doi.org/10.1007/s00344-013-9361-5>.
21. Qin C.C., et al. Ultrahigh water-retention cellulose hydrogels as soil amendments for early seed germination under harsh conditions. *Journal of Cleaner Production*, 2022, vol. 370, art. 133602. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133602>.
22. Montesano F.F., et al. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and agricultural science procedia*, 2015, vol. 4, pp. 451-458. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.052>.
23. Albalasmeh A.A., et al. Effect of hydrogel on corn growth, water use efficiency, and soil properties in a semi-arid region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2022, vol. 21, pp. 518-524. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.03.001>.
24. Wu Q., et al. Engineering rapeseed germination and root growth with mechanical strength of polysaccharide hydrogel. *ACS Applied Bio Materials*, 2024, vol. 7, pp. 3496-3505. <https://doi.org/10.1021/acsabm.4c00416>.
25. Orikiriza L.J.B., et al. Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress. *Journal of Environmental Protection*, 2013, vol.4, pp. 713-721. <https://doi.org/10.4236/jep.2013.47082>.

Авторлар туралы мәліметтер:

Бостубаева Макпал Булатовна* – PhD, аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 01000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, e-mail: m.bostubaeva@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0760-4339>.

Жанабергенев Аскар Оразович – аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 01000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, e-mail: Zhanabergenov.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0948-5932>.

Макенова Меруерт Мейрамовна – PhD, аға оқытушы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 01000, Астана қ., Жеңіс даңғ, 62, e-mail: m.makenova@kazatu.edu.kz , <https://orcid.org/0000-0001-7232-4061>.

Бостубаева Макпал Булатовна* – PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 01000, г. Астана, проспект Женис, 62, e-mail: m.bostubaeva@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0760-4339>.

Жанабергенов Аскар Оразович – старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 01000, г. Астана, проспект Женис, 62, e-mail: Zhanabergenov.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0948-5932>.

Макенова Меруерт Мейрамовна – PhD, старший преподаватель, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 01000, г. Астана, проспект Женис, 62, e-mail: m.makenova@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7232-4061>.

Bostubayeva Makpal Bulatovna* – PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 01000, Astana, 62 Zhenis Ave., e-mail: m.bostubaeva@kazatu.edu.kz , <https://orcid.org/0000-0002-0760-4339>.

Zhanabergenov Askar Orazovich – Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 01000, Astana, 62 Zhenis Ave., e-mail: Zhanabergenov.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0948-5932>.

Makenova Meruert Meirambekovna – PhD, Senior Lecturer, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 01000, Astana, 62 Zhenis Ave., e-mail: m.makenova@kazatu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7232-4061>.

МРНТИ 68.35.29:68.35.31

УДК 633.13.19:633.39

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621107>

СМЕШАННЫЕ ПОСЕВЫ ОДНОЛЕТНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ЗАГОТОВКИ СЕНАЖА В УСЛОВИЯХ СОПОЧНО-РАВНИННОЙ ЗОНЫ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Байтеленова А.А. – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Байдалин М.Е. – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетау университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Стыбаев Г.Ж.* – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Diri Kelvin Harrison – докторант 2 курса, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты комплексных исследований, направленных на оценку эффективности совместных посевов однолетних культур при производстве сенажа в условиях сопочно-равнинной зоны Акмолинской области. Основной целью работы являлось не только выявление оптимальных сочетаний бобовых и злаковых культур, но и изучение влияния листовой обработки препаратом «Лидер С» на биометрические показатели растений, их развитие, продуктивность и качество получаемой кормовой массы. В ходе эксперимента были заложены варианты с различными бинарными смесями культур (овес, ячмень, горох, вика), а также контрольные участки с монокультурами.

Проведенные наблюдения включали оценку лабораторной и полевой всхожести семян, густоты стояния растений, высоты и облиственности, фаз фенологического развития, а также анализ урожайности и питательной ценности зеленой массы. Результаты показали, что использование бобово-злаковых смесей способствует увеличению урожайности на 30–90 % по сравнению с одноданными посевами. Дополнительное применение препарата «Лидер С» положительно сказалось на сохранности растений и обеспечило прибавку урожая на 4,7–7,7 %. Наиболее высокую продуктивность продемонстрировали посевы смеси гороха и ячменя с урожайностью до 201 ц/га. Полученные данные подтверждают целесообразность внедрения смешанных посевов как эффективного и устойчивого элемента формирования кормовой базы.

Ключевые слова: сенаж, овес, ячмень, горох, вика, урожайность.

АҚМОЛА ОБЛЫСЫНЫҢ ШОҚЫЛЫ ЖАЗЫҚ АЙМАҒЫ ЖАҒДАЙЫНДА ПІШЕНДЕМЕ ДАЙЫНДАУ ҮШІН БІРЖЫЛДЫҚ ДАҚЫЛДАРДЫҢ ҚОСПАСЫН СЕБУ

Байтеленова А.А. – ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Байдалин М.Е. – PhD, қауымдастырылған профессор, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Стыбаев Г.Ж.* – ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, профессор, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Diri Kelvin Harrison – 2 курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Ақмола облысының ұсақ шоқылы-жазық аймағы жағдайында біржылдық дақылдарды бірлесіп себудің пішендеме алудағы тиімділігін бағалауға бағытталған кешенді зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Жұмыстың негізгі мақсаты бұршақ және астық тұқымдас дақылдардың оңтайлы үйлесімдерін анықтау ғана емес, сонымен қатар «Лидер С» препаратымен жапырақ арқылы өңдеудің өсімдіктердің биометриялық көрсеткіштеріне, олардың өсуі мен дамуына, өнімділігіне және алынатын мал азығы массасының сапасына әсерін зерттеу болды. Тәжірибе барысында әртүрлі дақылдардың (сұлы, арпа, бұршақ, сиыржоңышқа) бинарлық қоспалары, сондай-ақ дара дақылдар егілген бақылау нұсқалары орналастырылды.

Жүргізілген бақылаулар зертханалық және далалық өңгіштікті, өсімдіктердің тығыздығын, биіктігін, жапырақтылығын, фенологиялық даму кезеңдерін бағалауды, сондай-ақ жасыл массаның өнімділігі мен қоректік құндылығын талдауды қамтыды. Зерттеу нәтижелері бұршақ-астық қоспаларын қолдану дара егістермен салыстырғанда өнімділікті 30–90 % арттыратынын көрсетті. Сонымен қатар, «Лидер С» препаратын қолдану өсімдіктердің сақталуын жақсартып, өнімділікті 4,7–7,7 % арттырды. Ең жоғары өнімділікті бұршақ пен арпа қоспасы көрсетіп, 201 ц/га дейін өнім берді. Алынған нәтижелер аралас егістерді енгізу мал азықтық базаны қалыптастырудың тиімді әрі тұрақты тәсілі екенін дәлелдейді.

Түйінді сөздер: пішендеме, сұлы, арпа, бұршақ, ноғатық, өнімділік.

MIXED SOWING OF ANNUAL CROPS FOR SILAGE PRODUCTION UNDER THE CONDITIONS OF THE HILL-PLAIN ZONE OF THE AKMOLA REGION

Baitelenova A.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Baidalin M.Ye. – PhD, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Stybayev G.Zh. * – Candidate of Agricultural Sciences, Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Diri Kelvin Harrison – 2nd-year PhD student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of comprehensive studies aimed at evaluating the effectiveness of mixed sowings of annual crops for silage production in the hill-steppe zone of the Akmola region. The main objective of the study was not only to identify optimal combinations of legume and cereal crops, but to examine the effect of foliar treatment with the “Lider S” preparation on plant biometric parameters, their growth, productivity, and the quality of the resulting forage mass. The experiment included various binary mixtures of crops (oats, barley, pea, vetch), along with control plots of monocultures.

The research involved evaluating laboratory and field germination, plant density, height, leafiness, phenological development, as well as yield and nutritional quality of green biomass. The results showed that legume–cereal mixtures increased green mass yield by 30–90% compared to monocultures. Additionally, the use of the “Lider S” preparation improved plant survival and increased yield by 4.7–7.7%. The highest productivity was observed in pea–barley mixtures, with yields reaching up to 201 centners per hectare. The findings confirm the effectiveness of mixed sowings as a sustainable approach to strengthening the forage base.

Keywords: haylage, oats, barley, peas, vetch, yield.

Введение. Современное сельское хозяйство сталкивается с необходимостью повышения продуктивности кормовых угодий при одновременном снижении затрат ресурсов и воздействия на окружающую среду [1, с.217-219; 2, с.112-115]. В условиях степных зон Казахстана, характеризующихся континентальным климатом и нерегулярным увлажнением, устойчивое производство кормов приобретает особую актуальность. Основные проблемы включают низкую влагоёмкость почв, риск эрозии и

ограниченное количество органического вещества, что снижает продуктивность традиционных монокультур [3, с.45-49; 4, с.93-98].

Одним из эффективных способов повышения продуктивности кормовых угодий является использование совместных посевов однолетних культур, особенно бобово-злаковых смесей. Такие посевы обеспечивают более рациональное использование воды и питательных веществ [5, с.156-158], снижают конкуренцию с сорняками и уменьшают потребность в химической защите [6, с.67-69], повышают содержание белка и улучшают сбалансированность кормовой массы [2, с.118-120], а также создают устойчивые агроценозы, способствующие сохранению почвы и биологического разнообразия [1, с.220-221].

Цель исследования заключалась в изучении агробиологических особенностей совместных посевов овса, ячменя, гороха и вики при производстве сенажа, с акцентом на определение оптимальных бобово-злаковых комбинаций, оценку их фенологии, морфологических показателей, урожайности и качества кормовой массы.

Задачи исследования заключались в комплексной оценке совместных посевов однолетних культур для сенажа. В первую очередь определялась лабораторная и полевая всхожесть семян изучаемых культур. Одновременно проводилась оценка роста, морфологических характеристик и фенологического развития травосмесей. Сравнивалась урожайность и качество кормовой массы монокультур и бобово-злаковых смесей. Особое внимание уделялось влиянию листовой обработки препаратом «Лидер С» на продуктивность и сохранность растений. На основании полученных данных формировались рекомендации по оптимальным сочетаниям культур для сенажа в условиях сопочно-равнинной зоны.

Материалы и методы. Исследования проводились на опытных делянках, расположенных в условиях сопочно-равнинной зоны, что позволяло оценить продуктивность однолетних культур в типичных для региона агроклиматических условиях. В эксперименте было изучено шесть вариантов состава травосмесей, включающих как монокультуры, так и бинарные посевы бобово-злаковых комбинаций, а также два уровня листовой обработки: контроль без обработки и обработка препаратом «Лидер С».

Посев проводился с использованием пневматической сеялки *HORSCH Pronto 8 NT*, что обеспечивало равномерное распределение семян и точную глубину заделки. Междурядье составляло 15 см, глубина заделки – 4-5 см, что соответствует оптимальным требованиям для формирования дружных всходов и равномерного развития растений. Норма высева определялась с учётом агротехнических рекомендаций: овес – 6-7 млн всхожих семян на гектар, ячмень – 4,5-5,5 млн/га, горох – 1,0-1,2 млн/га, вика – 2,0-2,5 млн/га. В смесях компоненты высевались в равных долях (50:50 % от полной нормы), что обеспечивало сбалансированное развитие обеих культур.

В ходе эксперимента проводились комплексные наблюдения за агробиологическими показателями. Особое внимание уделялось фенологическим учётам по основным фазам развития растений, включая образование бутонов, цветение и налив семян. Параллельно измерялись морфологические характеристики: высота растений, густота стояния и облиственность, что позволяло оценить формирование структуры травостоя и его потенциальную продуктивность.

Для анализа эффективности посевов определялась как лабораторная, так и полевая всхожесть семян, что позволяло контролировать качество посевного материала и степень сохранности растений на различных этапах развития. Урожайность оценивалась по зеленой и сухой массе, при этом уборка производилась в фазе начала цветения бобовых и молочно-восковой спелости злаков для получения оптимального качества кормовой массы.

Качество полученного сенажа исследовалось по стандартным методикам [7, с.24], включая определение содержания сырого протеина, клетчатки, жира и золы, что позволяло оценить питательную ценность кормов и их пригодность для животноводческих нужд. Комплексный подход к проведению опытов обеспечил всестороннюю оценку влияния как состава травосмесей, так и листовой обработки препаратом «Лидер С» на рост, развитие и продуктивность однолетних культур в условиях сопочно-равнинной зоны.

Результаты и обсуждение. Эксперимент по совместному посеву однолетних культур на сенаж включал оценку различных комбинаций бобовых (горох, вика) и злаковых (овес, ячмень), с использованием контрольных участков с монокультурами для сравнения. Лабораторная всхожесть семян всех культур была высокой – 81-92 %, энергия прорастания составила 68-84 %, что подтверждает высокое качество посевного материала и его пригодность для полевых опытов. Наиболее высокие показатели зарегистрированы у овса (всхожесть 89 %, энергия прорастания 82 %), что делает его ключевым компонентом бобово-злаковых смесей благодаря способности формировать равномерные и густые всходы, создавая основу будущей урожайности.

Высокие показатели всхожести и энергии прорастания обеспечивают дружные и ранние всходы, способствуют максимальной густоте стояния растений и быстрому смыканию травостоя, что снижает конкуренцию с сорняками и уменьшает необходимость применения гербицидов. Равномерное развитие злаковых компонентов в смеси создает структурный каркас для бобовых, компенсируя их небольшое

отставание в скорости прорастания и обеспечивая агрономическую совместимость культур на ранних этапах развития.

Использование семян с высокой всхожестью позволяет оптимизировать норму посева, снижая риск изреживания всходов и минимизируя потери урожая, что повышает экономическую эффективность и экологичность посевов. Полевые наблюдения подтвердили, что бобово-злаковые смеси формируют устойчивый и продуктивный травостой, а листовая обработка препаратом «Лидер С» дополнительно увеличивает сохранность растений, рост и облиственность, повышая урожайность как зеленой, так и сухой массы.

Таким образом, экспериментальные данные подтверждают высокий потенциал совместных посевов однолетних бобово-злаковых культур для формирования устойчивой и продуктивной кормовой базы в условиях сопочно-равнинной зоны. Результаты исследования создают научное основание для рационального подбора культурных комбинаций, применения листовых обработок и разработки эффективных агротехнологий производства сенажа.

Анализ динамики густоты стояния и сохранности растений показывает прямую зависимость от конечной урожайности. В фазе 3-4 листьев все варианты опыта демонстрировали высокую сохранность растений – 79,8-86,6 % от числа вошедших семян, что указывает на благоприятные условия начального роста. Перед уборкой наблюдалось естественное изреживание травостоя. Монокultura овса сохранила к уборке 78,5 % растений, а обработка препаратом «Лидер С» повысила этот показатель до 80,1 %, демонстрируя положительное влияние на выживаемость растений (таблица 1).

Бобовые компоненты в смесях традиционно теряли часть растений к уборке (сохранность 68,4-73,7 %), что является их биологической особенностью. При обработке «Лидер С» конечная густота стояния бобовых компонентов повышалась: горох в смеси с овсом – с 68,4 % до 72,4 %, горох с ячменем – с 70,0 % до 75,0 %, вика с овсом – с 73,7 % до 77,6 %, вика с ячменем – с 69,0 % до 73,8 %. Злаковые компоненты также демонстрировали улучшение сохранности при использовании препарата, что повышает общую устойчивость травостоя.

Несмотря на более низкую начальную полевую всхожесть бобовых, к уборке формируется сбалансированный травостой, где злак обеспечивает густоту, а бобовый компонент повышает качество корма. Эффект препарата «Лидер С» доказал свою эффективность как инструмент управления продуктивностью, напрямую влияя на ключевой показатель урожая – густоту стояния растений перед уборкой, что является прямым фактором увеличения выхода зеленой массы с гектара. Бобово-злаковые смеси, особенно с применением ростостимулирующей обработки, показали себя более устойчивыми по сравнению с монокультурами бобовых, поскольку злаковый компонент компенсирует возможные потери бобовых. Формирование плотного полога в смешанных посевах также подавляет сорняки [8, с.1150132], снижая потребность в гербицидах и повышая экологическую эффективность производства кормов.

Таблица 1 – Полевая всхожесть и густота стояния однолетних травосмесей, 2025 год

№	Культура /травосмесь	Компонент	Кол-во всходов на 1 м ²	Полевая всхожесть, %	Кол-во растений в фазу 3-4 листьев, шт/м ²	Густота стояния, %	Кол-во растений перед уборкой, шт/м ²	Густота стояния, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Овес (без обработки)	Овес	256	81,6	208	81,3	201	78,5
2	Овес + Лидер С	Овес	—	—	—	—	205	80,1
3	Горох + овес	Горох	76	53,3	62	81,6	52	68,4
		Овес	228	64,5	192	84,2	180	78,9
4	Горох + овес + Лидер С	Горох	—	—	—	—	55	72,4
		Овес	—	—	—	—	185	81,1
5	Горох + ячмень	Горох	60	54,2	49	81,7	42	70,0
		Ячмень	172	62,6	149	86,6	142	82,6
6	Горох + ячмень + Лидер С	Горох	—	—	—	—	45	75,0
		Ячмень	—	—	—	—	147	85,5
7	Вика + овес	Вика	76	51,3	62	81,6	56	73,7
		Овес	228	66,7	192	84,2	184	80,7
8	Вика + овес + Лидер С	Вика	—	—	—	—	59	77,6
		Овес	—	—	—	—	188	82,5
9	Вика + ячмень	Вика	84	52,7	67	79,8	58	69,0
		Ячмень	212	61,8	182	85,8	175	82,5
10	Вика + ячмень + Лидер С	Вика	—	—	—	—	62	73,8
		Ячмень	—	—	—	—	177	83,5

Фенологические наблюдения позволили оценить темпы роста, формирование вегетативной и генеративной массы, а также влияние компонентного состава травосмесей и листовой обработки препаратом «Лидер С» на развитие культур. Посев всех вариантов был проведён 16 мая, что обеспечило сопоставимость наблюдений. Динамика наступления фаз продемонстрировала устойчивые различия между бобовыми и злаковыми культурами, при этом обработка «Лидер С» не оказывала влияния на сроки фенологических фаз, сохраняя их идентичными с контрольными вариантами.

В монокультурах овса (с обработкой и без неё) наблюдалось совпадение сроков всех фенологических фаз, что подтверждает нейтральное влияние препарата на скорость морфогенеза. Развитие овса и ячменя было равномерным, без задержек между фазами, с небольшим отставанием всходов ячменя. Бобовые компоненты – горох и вика – всходили на 2–3 дня позже злаков из-за физиологических особенностей, связанных с более длительным набуханием семян и формированием корневой системы. Развитие вики полностью совпадало с горохом, что обеспечивало согласованность биологических ритмов бобовых в смеси.

В смешанных посевах злаковые культуры развивались быстрее на начальных этапах, создавая структурный каркас для травостоя, тогда как бобовые догоняли по росту в середине вегетации, формируя высокий протеиновый компонент. Генеративные фазы культур синхронизировались в период с 15 по 19 июля, что обеспечивало возможность совместной уборки и формирования сбалансированного корма. Анализ взаимодействия компонентов показал, что в смесях не происходило подавления развития одной культуры другой, что подтверждает биологическую устойчивость агроценоза.

Таким образом, фенологические наблюдения подтверждают, что совместные посевы бобово-злаковых культур формируют синхронизированный и устойчивый агроценоз, при котором злаки обеспечивают густоту и структурную стабильность травостоя, а бобовые повышают качество кормовой массы. Обработка «Лидер С» не меняет темпов развития культур, но способствует улучшению продуктивности за счёт усиления роста и сохранности растений. Сбалансированная синхронизация фаз развития делает смеси пригодными для совместной уборки и получения высококачественного кормового сырья.

Высота растений и облиственность в смешанных посевах демонстрировали стабильные различия между компонентами травосмесей, отражающие как биологические особенности культур, так и влияние листовой обработки препаратом «Лидер С». Злаковые культуры характеризовались наибольшей биомассой побегов: овес в контроле достигал 90 см при облиственности 45 %, что соответствует типичному уровню структурного развития вида. Обработка «Лидер С» слегка увеличивала высоту овса до 93 см и повышала облиственность до 48 %, усиливая развитие листового аппарата без изменения фенологического ритма. Ячмень в смесях был несколько ниже – 72–74 см без обработки и 78 см после применения препарата, при этом облиственность повышалась с 42–45 % до 44–45 % (рисунок 1). В структуре смесей злаки сохраняли доминирующее положение, формируя верхний ярус и обеспечивая устойчивость травостоя.

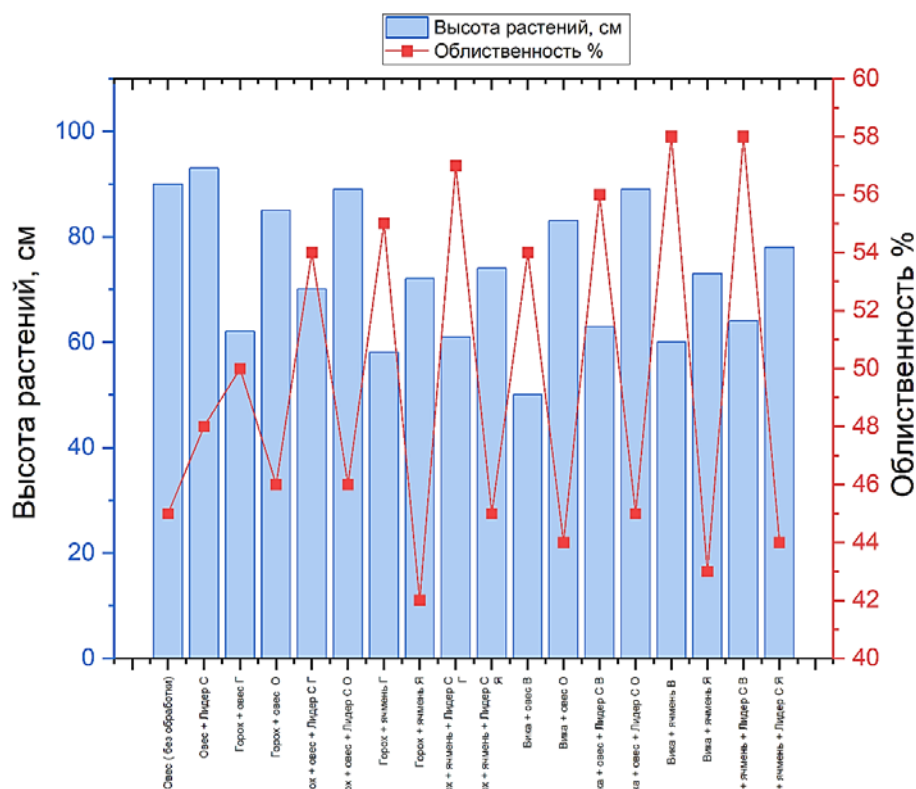


Рисунок 1 – Высота и облиственность однолетних культур в смесях

Бобовые культуры формировали более компактные побеги, но отличались высокой облиственностью, что является важным фактором накопления сырого протеина в зеленой массе. Горох в смесях с овсом и ячменем имел высоту 58-70 см, облиственность – 50-57 %, при этом обработка «Лидер С» усиливала оба показателя, особенно в сочетании с овсом (увеличение высоты с 62 до 70 см и облиственности с 50 до 54 %). Вика демонстрировала высокий уровень облиственности – 54-58 % при высоте 50-64 см, а листовая обработка способствовала приросту высоты на 10-13 см и увеличению облиственности на 2-4 %, что соответствует типичной реакции бобовых культур на биостимуляторы и направлено на активизацию вегетативного роста.

Сравнительный анализ смесей показывает, что сочетание бобовых и злаков обеспечивает формирование более сбалансированного многокомпонентного травостоя: злаки создают прочный структурный каркас за счет высокой высоты, а бобовые вносят значительный вклад в питательную ценность за счет высокой облиственности. Препарат Лидер С оказал статистически заметный стимулирующий эффект как на злаки, так и на бобовые, однако наиболее выраженное влияние отмечено именно на листовой аппарат бобовых, где повышение облиственности достигало максимальных значений. Увеличение высоты растений в смесях (овёс + Лидер С, вика + овес + Лидер С, горох + овес + Лидер С) сопровождается одновременным ростом доли листьев, что указывает на усиление фотосинтетического потенциала агроценоза. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что смешанные посевы с применением листовой обработки формируют более продуктивный и функционально устойчивый травостой, в котором оптимально сочетаются высота злаковых компонентов и высокая облиственность бобовых, определяющие общий кормовой потенциал смеси.

Урожайность однолетних культур и их смесей характеризовалась значительной вариабельностью, отражающей как биологические особенности компонентов, так и влияние листовой обработки препаратом «Лидер С». Контрольный вариант с монокультурой овса обеспечивал минимальные показатели урожайности – 1,04 кг/м² или 104 ц/га при сборе сухого вещества 21,84 ц/га, что соответствует типичным значениям для злаковых кормовых культур (таблица 2). Обработка «Лидер С» в чистом посеве овса повышала урожайность до 112 ц/га (+7,7 %) и увеличивала сбор сухого вещества на 1,9 ц/га, что указывает на умеренный стимулирующий эффект препарата при ограниченном биологическом потенциале монокультуры.

Таблица 2 – Урожайность однолетних травосмесей, 2025 год

№	Культура, смесь	Урожайность кг/м ²	Урожайность ц/га	Прибавка к контролю	Сухое вещество
1	Овес (без обработки)	1,04	104		21,84
2	Овес + Лидер С	1,12	112	+7,69%	23,74
3	Горох + овес	1,46	146		33,58
4	Горох + овес + Лидер С	1,57	157	+7,53%	36,74
5	Горох + ячмень	1,92	192		42,24
6	Горох + ячмень + Лидер С	2,09	201	+4,69%	46,23
7	Вика + овес	1,36	136		33,05
8	Вика + овес + Лидер С	1,44	144	+5,88%	33,58
9	Вика + ячмень	1,87	187		43,55
10	Вика + ячмень + Лидер С	1,99	199	+6,42%	46,37

Введение бобовых компонентов существенно повышало продуктивность травостоя. Смеси гороха с овсом формировали урожайность 146-157 ц/га, при этом обработка «Лидер С» обеспечивала дополнительный прирост на 7,5 %, а сбор сухого вещества достигал 36,74 ц/га. Наибольшие показатели наблюдались в вариантах «горох + ячмень»: урожайность достигала 192-201 ц/га, а сбор сухого вещества – 42,24-46,23 ц/га. Эти комбинации демонстрировали выраженный синергетический эффект: ячмень формировал структурный каркас травостоя, а горох обеспечивал высокое содержание протеина, что позволяло максимально реализовать биологический потенциал смеси. Прирост урожайности под действием «Лидер С» составил 4,7 %, что было ниже, чем в вариантах с овсом, однако в абсолютных значениях обеспечило наибольший прирост сухой массы среди всех смесей.

Смеси с викой также показывали высокую продуктивность: урожайность составляла 136-199 ц/га, а сбор сухого вещества – 33,05-46,37 ц/га. Наиболее эффективными оказались варианты «вика + ячмень», где урожайность достигала 187-199 ц/га, а обработка «Лидер С» обеспечивала прирост 6,4 %. Включение ячменя создаёт оптимальную структуру травостоя, позволяя вике реализовать высокий потенциал облиственности, что подтверждается морфологическими данными.

Полевой эксперимент по заготовке сенажа логично продолжается этапом его консервации и хранения, где выбор технологии напрямую определяет сохранность питательных веществ и экономическую эффективность процесса. Современные научные исследования и международная практика выделяют два доминирующих способа хранения: в герметичных полимерных рукавах («сенаж в рукавах») и в траншеях или ямах. Анализ последних публикаций показывает, что современные исследо-

вания постепенно отходят от простого сравнения этих методов и переходят к детальному изучению физико-химических и микробиологических процессов внутри кормовой массы, управляемых с помощью цифровых технологий и инновационных кормовых добавок [9, с.1075407; 10, с.1718].

Для условий Акмолинской области с континентальным климатом и резкими перепадами температур критически важно выбирать технологию, устойчивую к внешним воздействиям. Исследования, проведенные в климатических зонах, схожих с казахстанской, показывают, что полимерные рукава менее чувствительны к промерзанию корма зимой и его повторному оттаиванию, так как каждый рукав представляет собой изолированный объект [11, с.1795; 12, с.754]. Для траншей в таких условиях необходима дополнительная теплоизоляция верхнего покрытия, что увеличивает капитальные затраты. Кроме того, принцип зональности требует учитывать наличие и стоимость рабочей силы: технология рукавов более механизирована, но требует специального оборудования, тогда как траншейный метод более трудоемок на этапах трамбовки и укрытия.

Таким образом, практический опыт заготовки сенажа различными методами представляет собой важный материал для анализа. Сравнительная оценка питательной ценности, микробиологической безопасности и экономических затрат для каждого способа хранения позволяет верифицировать мировые научные данные в конкретных почвенно-климатических и хозяйственных условиях Казахстана и формировать научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальной технологии для молочно-товарных ферм региона. В 2025 году были получены данные по лабораторной и полевой всхожести семян, сохранности растений, высоте и облиственности, фенологическим интервалам, урожайности зеленой и сухой массы, что позволяет интегрировать результаты полевого опыта с этапами консервации и хранения кормовой массы.

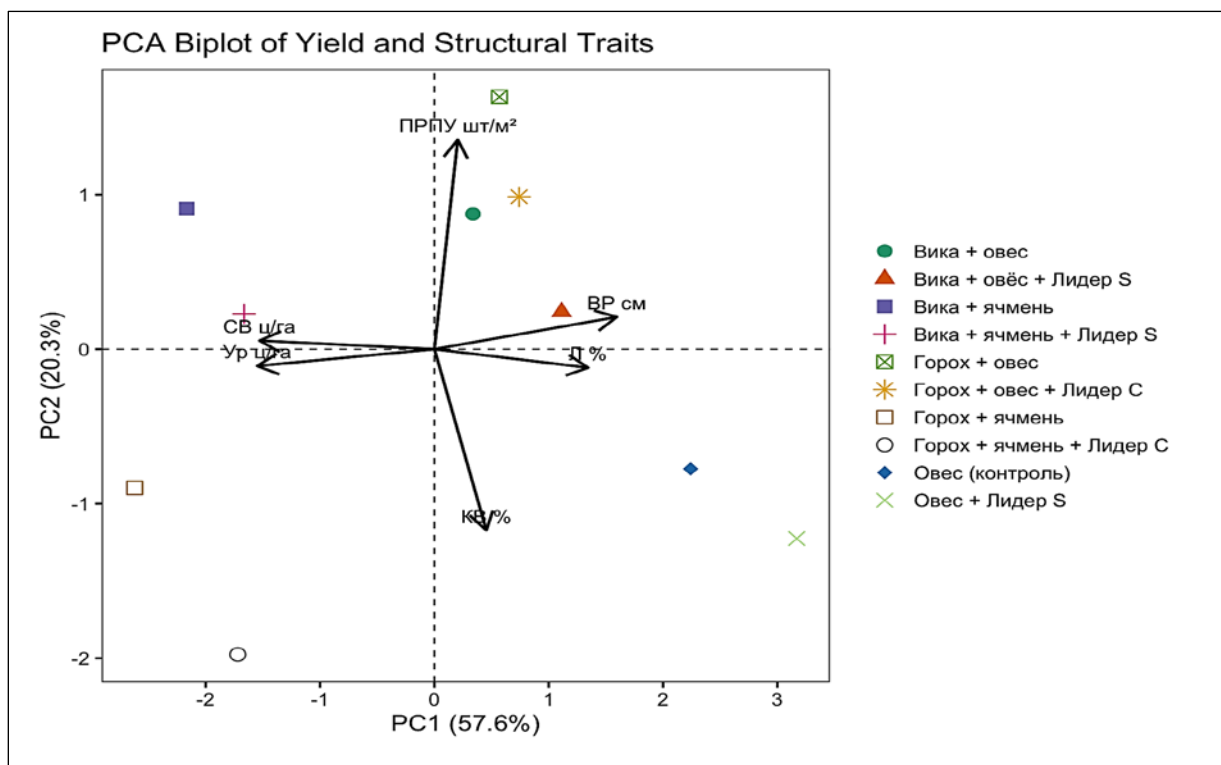


Рисунок 2 – PCA-биplot урожайности, структурных и популяционных признаков посева, отражающий распределение вариантов опытов вдоль PC1 (градиент продуктивность структура) и PC2 (вариация параметров популяции посева). Стрелки обозначают факторные нагрузки признаков, точки координаты вариантов опытов

Спирменовская корреляция, тепловая карта и анализ главных компонент (PCA) последовательно показали, что вариация между вариантами обработки в значительной степени была обусловлена компромиссом между продуктивностью, основанной на биомассе, и структурными признаками полога растений. Урожай зерна (Y , ц/га) имел очень тесную положительную связь с урожаем сухого вещества (СВ, ц/га) ($r = 0.97^{***}$), это подтверждает, что накопление биомассы было основным фактором продуктивности. Напротив, высота растений (BP, см) и доля листьев (Лист, %) отрицательно коррелировали с урожайностью ($r = -0.80^{**}$ и -0.43 соответственно), что указывает на то, что увеличение структурного роста не способствовало повышению урожая.

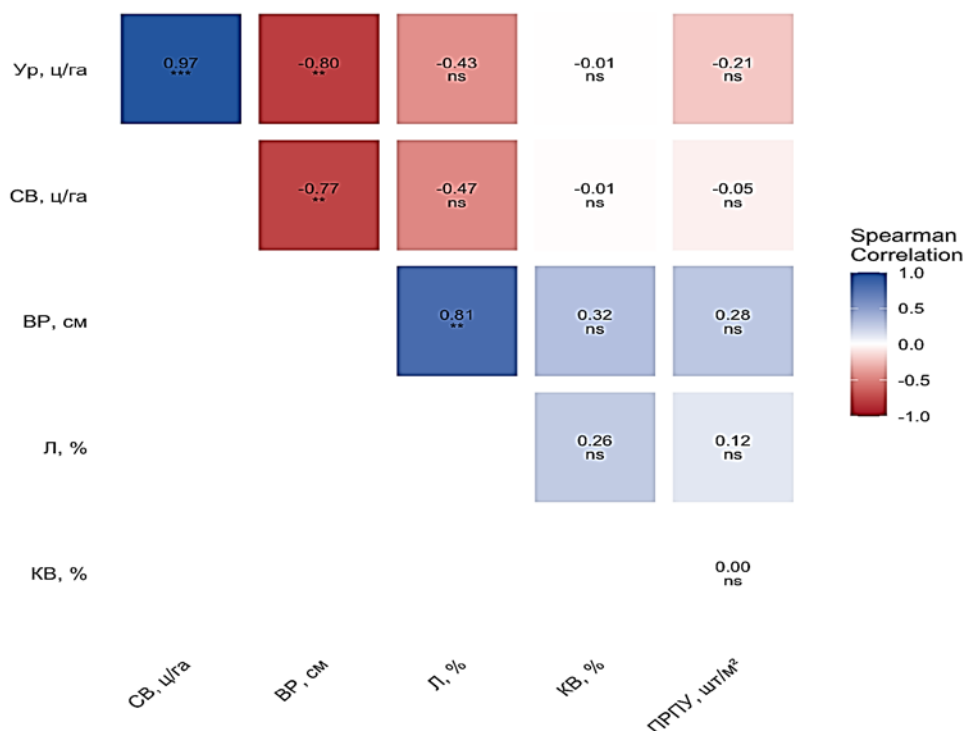


Рисунок 3 – Корреляционная тепловая карта взаимосвязей между урожайностью и признаками структуры посева

Эти взаимосвязи чётко отразились в PCA, где первые две главные компоненты объясняли более 75% общей изменчивости. Первая главная компонента (ПК1, 57.6%) представляла собой градиент продуктивности–структуры: урожай и сухая масса имели сильные отрицательные нагрузки, тогда как высота растений и облиственность – положительные. Соответственно, варианты с низкими значениями ПК1 в основном ассоциировались с признаками продуктивности, а варианты с высокими значениями ПК1 – с доминированием структурных признаков. Вторая компонента (ПК2, 20.3%) отражала вариацию характеристик популяционной структуры, противопоставляя густоту стояния перед уборкой (ПРПУ) и коэффициент выживаемости (KB, %), и в значительной степени действовала независимо от формирования урожайности.

Распределение вариантов на бикарте PCA показало, что смеси на основе ячменя, в частности вика + ячмень, вика + ячмень + Лидер S и горох + ячмень + Лидер C, были основными вкладчиками в ось продуктивности (ПК1), демонстрируя тесную связь с урожайностью и сухой массой. Различия между этими вариантами вдоль ПК2 в основном относились к структуре популяции, а не к продуктивности. Напротив, варианты на основе овса группировались при более высоких значениях ПК1 и сильнее ассоциировались с высотой растений и облиственностью, отражая стратегию структурного роста с ограниченным влиянием на вариацию урожая.

Многомерный анализ показал, что вариация урожайности, в первую очередь, была связана с накоплением биомассы, тогда как структурные признаки и параметры популяции играли второстепенную роль. Таким образом, различия между вариантами в основном характеризовались контрастными ассоциациями продуктивных и структурных признаков, подчёркивая значение эффективности использования биомассы в формировании урожайности.

Выводы. Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность совместных посевов однолетних бобовых и злаковых культур для производства сенажа в условиях сопочно-равнинной зоны. Такие посевы позволяют значительно повысить урожайность зеленой и сухой массы по сравнению с монокультурами, что обусловлено синергетическим взаимодействием компонентов: злаки формируют структурный каркас травостоя, обеспечивая густоту и устойчивость агроценоза, а бобовые повышают питательную ценность за счет содержания протеина. Наибольшую продуктивность показали комбинации горох + ячмень и вика + ячмень, достигающие урожайности до 200 ц/га, что свидетельствует о высокой агробиологической совместимости этих культур.

Листовая обработка препаратом «Лидер С» дополнительно повышает сохранность растений, способствует увеличению высоты, густоты стояния и облиственности компонентов, что обеспечивает дополнительный прирост урожайности на 4–8 % и улучшение качества кормовой массы. Применение препарата особенно эффективно в смесях с овсом и ячменем, стимулируя как рост злаковых, так и

развитие бобовых культур, что позволяет максимально реализовать биологический потенциал травосмесей.

Бобово-злаковые посевы формируют устойчивые агроценозы, снижают сорную конкуренцию, уменьшают необходимость в гербицидах и создают более стабильную кормовую базу, пригодную для кормления животных даже в условиях засушливого континентального климата сопочно-равнинной зоны. Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения совместных посевов с применением листовой обработки «Лидер С» как эффективного, экономически и экологически обоснованного подхода к формированию высокопродуктивной и устойчивой кормовой системы.

Финансирование. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан Программа BR28712213 «Повышение производительности и экологизация молочно-товарных ферм на основе интенсификации и цифровизации кормопроизводства, растениеводства и рационального использования ресурсов для улучшения экономической и экологической устойчивости Акмолинской области».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Lithourgidis, A.S. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture [Text] / A.S. Lithourgidis, C.A. Dordas, C.A. Damalas, S.G. Vlachostathis // *Field Crops Research*. – 2011. – Vol. 124. – P. 203–221.
2. Barnes, D.K. Forage crop mixtures for improved yield and quality [Text] / D.K. Barnes, R.M. Mead, R.E. Hill // *Agronomy Journal*. – 2007. – Vol. 99. – No. 2. – P. 110–125.
3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта [Текст]: учебное пособие / Б.А. Доспехов. – 5-е изд. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
4. Конюшков, М.А. Агротехника кормовых культур [Текст] / М.А. Конюшков, В.П. Петров, И.В. Сидоров. – Л.: Колос, 1971. – 180 с.
5. Dordas, C. Plant interactions in intercrops and impact on nutrient use efficiency [Text] / C. Dordas, A.S. Lithourgidis, I.B. Vasilakoglou // *European Journal of Agronomy*. – 2012. – Vol. 36. – P. 144–158.
6. Митрофанов, В.А. Влияние смешанных посевов на продуктивность кормового фонда [Текст] / В.А. Митрофанов, Н.Н. Иванов, П.Д. Кузнецов // *Труды ВАСХНИЛ*. – 1971. – № 44. – С. 67–69.
7. ГОСТ 13496-2016. Сенаж, силос и сено: методы определения качества кормов [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24 с.
8. Karnatam, K.S. Silage maize as a potent candidate for sustainable animal husbandry development: perspectives and strategies for genetic enhancement [Text] / K.S. Karnatam, B. Mythri, W. Un Nisa, H. Sharma, T.K. Meena, P. Rana, Y. Vikal, M. Gowda, B.S. Dhillon, S. Sandhu // *Frontiers in Genetics*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1150132.
9. Zi, X. Prolonged drought regulates the silage quality of maize (*Zea mays* L.): Alterations in fermentation microecology [Text] / X. Zi, W. Wang, S. Zhou, F. Zhou, D. Rao, P. Shen, S. Fang, B. Wu // *Frontiers in Plant Science*. – 2022. – Vol. 13. – P. 1075407.
10. Yasin, S. Morphological and physiological response of maize (*Zea mays* L.) to drought stress during reproductive stage [Text] / S. Yasin, F. Zavala-García, G. Niño-Medina, P.A. Rodríguez-Salinas, A. Gutiérrez-Díez, S.R. Sinagawa-García, E. Lugo-Cruz // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14. – Issue 8. – P. 1718.
11. Kumdee, O. Morpho-physiological and biochemical responses of maize hybrids under recurrent water stress at early vegetative stage [Text] / O. Kumdee, M.S.H. Molla, K. Kanavittaya, J. Romkaew, E. Sarobol, S. Nakasathien // *Agriculture*. – 2023. – Vol. 13. – Issue 9. – P. 1795.
12. Stepinac, D. Selecting tolerant maize hybrids using factor analytic models and environmental covariates as drought stress indicators [Text] / D. Stepinac, I. Pejić, K. Pandžić, T. Likso, H. Šarčević, D. Šimić, M. Bukan, I. Buhiniček, A. Jambrović, B. Marković, M. Jukić, J. Gunjača // *Genes*. – 2025. – Vol. 16. – Issue 7. – P. 754.

REFERENCES:

1. Lithourgidis A.S., Dordas C.A., Damalas C.A., Vlachostathis S.G. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. *Field Crops Research*, 2011, vol. 124. pp. 203–221.
2. Barnes D.K., Mead R.M., Hill R.E. Forage crop mixtures for improved yield and quality. *Agronomy Journal*, 2007, vol. 99. no. 2, pp. 110–125.
3. Dospheov B.A. Metodika polevogo opy'ta [Experimental methodology]. Moscow, Agropromizdat, 351 p. (In Russian)
4. Konyushkov M.A., Petrov V.P., Sidorov I.V. Agrotehnika kormovy'h kul'tur [Agrotechnics of forage crops]. Leningrad, Kolos, 180 p. (In Russian)
5. Dordas C., Lithourgidis A.S., Vasilakoglou I.B. Plant interactions in intercrops and impact on nutrient use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 2012, vol. 36, pp.144–154.
6. Mitrofanov V.A., Ivanov N.N., Kuznetsov P.D. Vliyanie smeshanny'h posevov na produktivnost' kormovogo fonda [Effect of mixed sowings on the productivity of the forage base]. *Trudy' VASHNIL*, 1971, no. 44, pp. 67–69. (In Russian)

7. GOST 13496–2016. Senazh, silos i seno: metody' opredeleniya kachestva kormov [Silage, haylage and hay: Methods for feed quality determination]. Moscow, Standartinform, 2016, 24 p. (In Russian)
8. Karnatam K.S., Mythri B., Un Nisa W. et al. Silage maize as a potent candidate for sustainable animal husbandry development – perspectives and strategies for genetic enhancement. *Frontiers in Genetics*, 2023, vol. 14, art. 1150132.
9. Zi X., Wang W., Zhou S. et al. Prolonged drought regulates the silage quality of maize (*Zea mays* L.): Alterations in fermentation microecology. *Frontiers in Plant Science*, 2022, vol. 13, art. 1075407.
10. Yasin S., Zavala-García F., Niño-Medina G. et al. Morphological and Physiological Response of Maize (*Zea mays* L.) to Drought Stress during Reproductive Stage. *Agronomy*, 2024, vol. 14, iss. 8, art. 1718.
11. Kumdee O., Molla M.S.H., Kanavittaya K. et al. Morpho-physiological and biochemical responses of maize hybrids under recurrent water stress at early vegetative stage. *Agriculture*, 2023, vol. 13, iss. 9, art. 1795.
12. Stepinac D., Pejić I., Pandžić K. et al. Selecting tolerant maize hybrids using factor analytic models and environmental covariates as drought stress indicators. *Genes*, 2025, vol. 16, iss. 7, art. 754.

Сведения об авторах:

Байтеленова Алия Аскеровна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, руководитель ГОП «Растениеводство», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина». Республика Казахстан, 010000, г. Астана, проспект Женис, 62, тел.: 87017782178, e-mail: a.baitelenova@kazatu.edu.kz.

Байдалин Марден Ерсаинович – PhD, ассоциированный профессор, руководитель Департамента науки и коммерциализации технологии, НАО «Кокшетау университет им. Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87475546495, e-mail: MBaidalin@shokan.edu.kz.

Стыбаев Гани Жасымбекович* – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор ГОП «Растениеводство», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, проспект Женис, 62, тел.: 87021222808, e-mail: g.stybayev@kazatu.edu.kz.

Diri Kelvin Harrison – докторант 2 курса ОП «Органическое земледелие», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, проспект Женис, 62, тел.: 87760084946, e-mail: kelvin.h.diri@kazatu.edu.kz.

Байтеленова Алия Аскеровна – ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Өсімдік шаруашылығы» ББ тобының жетекшісі, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: 87017782178, e-mail: a.baitelenova@kazatu.edu.kz.

Байдалин Марден Ерсаинович – PhD, қауымдастырылған профессор, ғылым және технологияларды коммерциализациялау департаментінің жетекшісі, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш., 76, тел.: 87475546495, e-mail: MBaidalin@shokan.edu.kz.

Стыбаев Гани Жасымбекович* – ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, профессор, «Өсімдік шаруашылығы» ББ тобы, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: 87021222808, e-mail: g.stybayev@kazatu.edu.kz.

Diri Kelvin Harrison – «Органикалық егіншілік» БББ 2 курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: 87760084946, e-mail: kelvin.h.diri@kazatu.edu.kz.

Baitelenova Aliya Askerovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of crop production, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87017782178, e-mail: a.baitelenova@kazatu.edu.kz.

Baidalin Marden Yerssainovich – PhD, Associate Professor, Head of the Department of science and technology commercialization, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87475546495, e-mail: MBaidalin@shokan.edu.kz.

Stybayev Gani Zhassymbekovich* – Candidate of Agricultural Sciences, Professor, Department of crop production, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87021222808, e-mail: g.stybayev@kazatu.edu.kz.

Diri Kelvin Harrison – 2nd-year PhD student, "Organic Farming" educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87760084946, e-mail: kelvin.h.diri@kazatu.edu.kz.

МРНТИ 68.39.19

УДК 636.2.09:636.5.09

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621117>

ГЕНЕАЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ПРОДУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИЙ КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОДЫ В КХ «СҰЛТАН»

Губашев Н.М.* – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, Республика Казахстан.

Кулбаев Р.М. – PhD, старший преподаватель, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, Республика Казахстан.

Шукуров М.Ж. – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана» г. Уральск, Республика Казахстан.

Амангалиев Т.Г. – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты оценки генеалогической структуры, продуктивных и морфологических признаков маточного поголовья крупного рогатого скота в хозяйстве «Сұлтан». Для анализа использованы показатели живой массы, молочности, промеров туловища и оценки экстерьера полновозрастных коров различных заводских линий казахской белоголовой породы. Установлено, что средние показатели живой массы и молочности по выборке превышают средние значения по стаду и соответствуют или превосходят стандарт породы. Наибольшую продуктивность по молочности демонстрируют линии Король 13582 и Замок 3035, по живой массе и экстерьеру – линии Салем 12747 и Майлан 13851. Морфологические показатели линейных коров относительно однородны: линии Салем и Майлан отличаются большей крупностью и мощным костяком, а линии Замок и Байкал – более компактным телосложением. Анализ коэффициентов наследуемости показал, что генотип оказывает умеренное влияние на большинство признаков; наибольшая наследуемость выявлена у молочности и ширины груди, наименьшая – у живой массы и обхвата пясти, что свидетельствует о высокой степени консолидации популяции. Для повышения генетического потенциала стада рекомендуется целенаправленное спаривание родительских форм и привлечение неродственных животных из других регионов с учетом бонитировки и параметров отбора, рассчитанных для конкретного хозяйства.

Ключевые слова: казахская белоголовая порода, генеалогия, продуктивность, наследуемость, живая масса, молочность, экстерьер.

«СҰЛТАН» ШАРУА ҚОЖАЛЫҒЫНДАҒЫ ҚАЗАҚТЫҢ АҚБАС ТҰҚЫМЫ АТАЛЫҚ ІЗДЕРІНІҢ ГЕНЕАЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ ӨНІМДІЛІК СИПАТТАМАЛАРЫ

Губашев Н.М.* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, доцент, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Кулбаев Р.М. – PhD, аға оқытушы, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Шукуров М.Ж. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Амангалиев Т.Г. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада «Сұлтан» шаруашылығындағы ірі қара малдың аналық табынының генеалогиялық құрылымы, өнімділік және морфологиялық белгілерін бағалау нәтижелері ұсынылған. Талдау үшін қазақтың ақбас тұқымының әртүрлі зауыттық аталық іздеріне жататын толық жастағы сиырлардың тірі салмағы, сүттілігі, дене өлшемдері және экстерьерлік бағалау көрсеткіштері пайдаланылды. Зерттеу нәтижелері бойынша тірі салмақ пен сүттіліктің көрсеткіштері табынның орташа көрсеткіштерінен жоғары екені және тұқым стандартына сәйкес немесе одан асып түсетіні анықталды. Сүттілік көрсеткіші бойынша ең жоғары өнімділікті Король 13582 және Замок 3035 аталық іздері көрсетті, ал тірі салмақ пен экстерьер бойынша Салем 12747 және Майлан 13851 аталық іздері алдыңғы орында болды. Аталық іздер сиырлардың морфологиялық көрсеткіштері салыстырмалы түрде біркелкі: Салем және Майлан аталық іздері ірілігімен және сүйек қаңқасының мықтылығымен ерекшеленсе, Замок және Байкал аталық іздері неғұрлым ықшам дене бітімімен сипатталды. Тұқымқуалаушылық коэффициенттерін талдау генотиптің белгілердің көпшілігіне орташа деңгейде әсер ететінін көрсетті: ең жоғары тұқымқуалаушылық сүттілік пен кеуде енінде, ал ең төменгісі тірі салмақ пен жіліншік айналымында анықталды. Бұл популяцияның жоғары деңгейде консо-

лидацияланғанын дәлелдейді. Табынның генетикалық әлеуетін арттыру мақсатында ата-аналық формаларды мақсатты түрде жұптастыру, сондай-ақ нақты шаруашылық үшін есептелген бонитировка мен іріктеу параметрлерін ескере отырып, басқа өңірлерден туыстас емес малдарды тарту ұсынылады.

Түйінді сөздер: қазақтың ақбас тұқымы, генеалогия, өнімділік, тұқымқуалаушылық, тірі салмақ, сүттілік, экстерьер.

GENEALOGICAL STRUCTURE AND PRODUCTIVE QUALITIES OF KAZAKH WHITE-HEADED CATTLE LINES AT «SULTAN» FARM

Gubashev N.M.* – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

Kulbayev R.M. – PhD, Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

Shukurov M.Zh. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

Amangaliyev T.G. – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of evaluating the genealogical structure, productive, and morphological qualities of the breeding stock of cattle at the “Sultan” farm. The analysis included body weight, milk yield, body measurements, and overall conformation scores of adult cows from different factory lines of the Kazakh White-Headed breed. It was established that the average live weight and milk yield in the sample exceed the herd averages and meet or surpass the breed standard. The highest milk productivity was observed in the Korol 13582 and Zamok 3035 lines, while the greatest body weight and conformation scores were noted in the Salem 12747 and Mailan 13851 lines. Morphological parameters of line cows were relatively uniform: Salem and Mailan lines demonstrated larger body size and stronger bone structure, whereas Zamok and Baikal lines had a more compact body type. Heritability analysis showed that genotype has a moderate influence on most parameters; the highest heritability was found for milk yield and chest width, and the lowest for body weight and cannon bone circumference, indicating a high degree of population consolidation. To improve the genetic potential of the herd, targeted mating of parental forms and the introduction of unrelated animals from other regions, selected according to appraisal and farm-specific criteria, are recommended.

Keywords: Kazakh White-Headed breed, genealogy, productivity, heritability, body weight, milk yield, body conformation.

Введение. В племенном разведении казахской белоголовой породы на протяжении многих десятилетий сложилась устойчивая система генеалогических линий, широко используемых в различных хозяйствах Казахстана и сопредельных регионов. Балансированное применение быков проверенных линий обеспечивает стабильность генотипической структуры породы и позволяет поддерживать высокую продуктивность сформированных стад [1, с.10]. Наибольшее распространение получили линии, проверенные в течение долгого периода использования, которые представлены в современных хозяйствах устойчивыми по наследуемым признакам потомствами [2, с.98-99; 3, с.8].

Исторически значительная часть линий формировалась на базе крупных племенных хозяйств, прежде всего в племенных заводах им. Дмитрова (Замок 3035 и Король 13582), «Анкатинский» (Майлан 13851, Ландыш 9879, Салем 12747) и «Чапаевский» (Байкал 442, Коппертон 150), что обеспечило приток высококачественного генетического материала в популяцию казахской белоголовой породы [4, с.35-36; 5, с.35]. Продолжительное использование таких производителей в ряде хозяйств Казахстана способствовало расширению генетического разнообразия и повышению адаптационных качеств животных.

Комбинирование генеалогических линий в условиях разных хозяйств приводит к значительной вариативности продуктивных признаков, так как влияние быков-производителей на формирование мясной продуктивности, рост и экстерьерные особенности потомства неодинаково [6, с.58]. Научно обоснованное использование генотипических факторов, включая линейную принадлежность, позволяет эффективно совершенствовать селекционную работу и планировать разнолинейные подборы, что доказало свою результативность в хозяйствах с развитой системой племенного разведения [7, с.37; 8, с.50].

В условиях интенсивных технологий выращивания выявлено, что определённые линии демонстрируют преимущества по живой массе и темпам роста. В различных регионах Казахстана и России более высокими показателями роста характеризуются потомки линий Ландыша 9878, Ветерана 7880, Короля 13682 и других, что подтверждает значимость генеалогической принадлежности при формировании мясной продуктивности [9, с.275; 10, с.208; 11, с.14; 12, с.79]. Применение зоотехнических и генетических критериев оценки племенной ценности служит основой для дальнейшего совершенствования линий и поддержания высокой продуктивности популяции [13, с.27; 14, с.283; 15, с.195].

Большинство линий казахской белоголовой породы отличается хорошими воспроизводительными качествами, что позволяет прогнозировать продуктивный потенциал коров на ранних этапах и оптимизировать воспроизводство стада [16, с.260; 17, с.79].

Цель исследования – провести сравнительную оценку продуктивных и экстерьерных признаков коров казахской белоголовой породы различных генеалогических линий, представленных в крестьянском хозяйстве «Сұлтан».

Задачи исследования:

- Изучить генеалогическую структуру маточного стада казахской белоголовой породы в крестьянском хозяйстве «Сұлтан»;
- Оценить живую массу и молочность коров различных генеалогических линий;
- Проанализировать морфологические и экстерьерные признаки коров на основе промеров туловища и балльной оценки экстерьера;
- Определить коэффициенты наследуемости основных продуктивных и морфологических признаков и оценить степень влияния генотипа на их проявление;
- Выявить наиболее перспективные генеалогические линии для дальнейшего племенного использования в условиях крестьянского хозяйства «Сұлтан».

Материал и методы исследования. Исследования проведены в крестьянском хозяйстве «Сұлтан» Западно-Казахстанской области, специализирующемся на разведении крупного рогатого скота казахской белоголовой породы мясного направления.

Материалом послужили данные маточного поголовья. Для анализа использованы показатели полновозрастных коров, включающие следующие племенные и продуктивные признаки: живая масса, основные промеры тела, сводный балл экстерьерной оценки, молочность, а также генеалогическая принадлежность каждой особи.

Оценку генеалогических линий проводили по совокупности хозяйственно полезных признаков с выделением доли каждой линии в структуре маточного поголовья. Межлинейные различия изучали во внутривладельческом аспекте, сопоставляя показатели животных отдельной линии со средней величиной по стаду и со стандартом породы. Достоверность различий определяли между животными оцениваемой линии и остальной популяцией коров в хозяйстве.

Обработка данных проводилась методами вариационной статистики по методу Н.А.Плохинского [18, с.289-340]. Генетико-селекционная интерпретация данных проводилась на основе принципов линейного разведения и сравнительной оценки генеалогических групп.

Результаты исследования. Генеалогическая структура маточного поголовья КРС в хозяйстве «Сұлтан» (табл. 1) демонстрирует разнообразие заводских линий и их значительный вклад в состав стада.

Таблица 1 – Генеалогическая структура маточного поголовья КХ «Сұлтан»

Заводская линия	Разновозрастная группа маточного поголовья, гол.					
	Коровы			Нетели	Телки всех возрастов	Всего
	5 лет и старше	4 года	3 года			
Майлан 13851	27	8	21	13		69
Ландыш 9879	19	-	12		10	41
Салем 12747	24	11	14		5	54
Байкал 442	26	9	15	11	7	68
Коппертон 150к	22	6	11	3	-	42
Замок 3035	12	-	33	7	5	57
Король 13582	9	-	29	8	3	49
Итого	139	34	135	42	30	380

Наибольший удельный вес занимают линии Майлан 13851 и Байкал 442, составляя соответственно 18,6 % и 18,3 % от общего числа маточного поголовья, что обеспечивает хозяйству стабильный генетический потенциал. Линии Салем 12747 и Замок 3035 представлены 14,6 % и 15,4 % от общего поголовья, линии Ландыш 9879 и Коппертон 150к – 11,1 % и 11,3 %, создавая разнообразие генетического фонда и возможности для целенаправленной селекции.

Возрастная структура маточного поголовья также положительно характеризует хозяйство. Линии Майлан 13851 и Замок 3035 имеют значительное число телок, что обеспечивает активное обновление стада и высокую воспроизводительную способность в ближайшие годы. Линии Байкал 442 и Салем 12747 демонстрируют сбалансированное распределение по возрастным группам, что создаёт основу для устойчивой продуктивности и равномерного использования маточного поголовья.

В целом, структура поголовья показывает, что хозяйство располагает сильными генетическими линиями с высоким потенциалом продуктивного воспроизводства. Сбалансированное сочетание возрастных групп и разнообразие линий создаёт благоприятные условия для дальнейшего развития стада.

Для оценки продуктивного потенциала линейных коров проведен анализ живой массы, молочности и экстерьера (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика линий полновозрастных коров ($\bar{X} \pm S_x$)

Линия	Количество голов	Показатели		
		Живая масса, кг	Молочность, кг	Оценка экстерьера, балл
Майлан 13851	27	544,0 $\pm$ 5,51	191,5 $\pm$ 4,03	28,3 $\pm$ 0,44
Ландыш 9879	19	539,5 $\pm$ 5,75	191,6 $\pm$ 3,73	27,4 $\pm$ 0,68
Салем 12747	24	552,9 $\pm$ 8,92	189,1 $\pm$ 3,42	28,5 $\pm$ 0,88
Байкал 442	26	527,5 $\pm$ 6,8	196,3 $\pm$ 2,2	26,5 $\pm$ 0,90
Коппертон 150к	22	536,3 $\pm$ 7,3	183,5 $\pm$ 5,3	25,9 $\pm$ 0,80
Замок 3035	12	523,6 $\pm$ 9,94	205,9 $\pm$ 5,98	25,8 $\pm$ 0,98
Король 13582	9	529,9 $\pm$ 12,0	209,9 $\pm$ 6,99	27,2 $\pm$ 0,27
Среднее по выборке	139	536,1 $\pm$ 8,3	195,0 $\pm$ 5,2	27,0 $\pm$ 0,8
Среднее по стаду	307	502,3 $\pm$ 14,2	182,5 $\pm$ 7,8	25,1 $\pm$ 1,1
Стандарт породы	-	520	165	>27*/24**

Примечание: *элита-рекорд; **элита

Средняя живая масса коров по выборке составила 536,1 кг ($p < 0,05$), что выше среднего по стаду на 6,8% и стандарта породы на 3,1%. Наибольшая масса отмечена у линии Салем 12747 (552,9 кг, $p < 0,01$), наименьшая – у линии Замок 3035 (523,6 кг, $p < 0,05$).

Средняя молочность по выборке составила 195,0 кг ($p < 0,05$), превышающая среднее по стаду на 6,8% и стандарт породы на 18,2%. Линии Король 13582 (209,9 кг, $p < 0,01$) и Замок 3035 (205,9 кг, $p < 0,01$) демонстрируют наибольшую продуктивность, тогда как Коппертон 150к (183,5 кг, $p < 0,05$) имеет наименьшую.

Средняя оценка экстерьера составила 27,0 балла ($p < 0,05$), что выше среднего по стаду на 7,6% и соответствует стандарту класса элиты-рекорд (>27 баллов). Лучшие показатели у линий Салем 12747 (28,5 балла, $p < 0,01$) и Майлан 13851 (28,3 балла, $p < 0,01$), а наименьшие – у Коппертон 150к (25,9 балла, $p < 0,05$) и Замок 3035 (25,8 балла, $p < 0,05$).

Следовательно, линии с высокой молочностью, такие как Король и Замок, целесообразно использовать для повышения продуктивности стада, тогда как линии с выраженными экстерьерными качествами и большой живой массой, например Салем и Майлан, важны для сохранения типичных породных признаков и улучшения мясной составляющей.

Для оценки морфологического развития полновозрастных линейных коров проведена характеристика промеров туловища с указанием средних значений и вариативности (табл. 3).

Таблица 3 – Промеры полновозрастных линейных коров ($\bar{X} \pm S_x$)

Промеры	Майлан 13851	Ландыш 9879	Салем 12747	Байкал 442	Коппертон 150к	Замок 3035	Король 13582	Среднее по выборке
Высота в холке, см	127,1 $\pm$ 0,5	126,8 $\pm$ 0,6	128,0 $\pm$ 0,7	125,5 $\pm$ 0,5	126,0 $\pm$ 0,6	124,9 $\pm$ 0,8	127,3 $\pm$ 0,4	126,4 $\pm$ 0,6
Высота в крестце, см	129,5 $\pm$ 0,6	128,8 $\pm$ 0,7	130,2 $\pm$ 0,8	127,9 $\pm$ 0,6	128,5 $\pm$ 0,7	127,2 $\pm$ 0,9	129,8 $\pm$ 0,5	128,8 $\pm$ 0,7
Глубина груди, см	86,0 $\pm$ 0,6	85,5 $\pm$ 0,5	86,8 $\pm$ 0,7	84,5 $\pm$ 0,5	85,2 $\pm$ 0,6	83,8 $\pm$ 0,7	86,1 $\pm$ 0,4	85,4 $\pm$ 0,6
Ширина груди, см	46,5 $\pm$ 0,4	46,0 $\pm$ 0,5	46,7 $\pm$ 0,6	45,5 $\pm$ 0,4	45,9 $\pm$ 0,5	45,2 $\pm$ 0,6	46,3 $\pm$ 0,3	46,0 $\pm$ 0,5
Косая длина туловища, см	169,8 $\pm$ 1,5	168,7 $\pm$ 1,6	170,2 $\pm$ 1,7	167,0 $\pm$ 1,4	168,0 $\pm$ 1,5	166,2 $\pm$ 1,6	169,5 $\pm$ 1,2	168,7 $\pm$ 1,5
Обхват груди, см	204,8 $\pm$ 2,8	203,5 $\pm$ 3,0	205,4 $\pm$ 3,1	202,0 $\pm$ 2,5	203,2 $\pm$ 2,9	201,0 $\pm$ 3,2	204,0 $\pm$ 2,0	203,5 $\pm$ 2,8
Обхват пясти, см	21,7 $\pm$ 0,2	21,5 $\pm$ 0,1	21,8 $\pm$ 0,2	21,4 $\pm$ 0,2	21,5 $\pm$ 0,2	21,2 $\pm$ 0,2	21,6 $\pm$ 0,1	21,5 $\pm$ 0,2

Средняя высота в холке по выборке составила 126,4 см, в крестце – 128,8 см, при этом наибольшие показатели отмечены у линий Салем и Король, а наименьшие – у Замка и Байкала.

Глубина груди в среднем составляет 85,4 см, ширина – 46,0 см; линии Салем и Майлан отличаются более крупными размерами, в то время как Замок и Байкал имеют минимальные значения, что отражает различия в конституции животных.

Косая длина туловища варьировала от 166,2 см у линии Замок до 170,2 см у линии Салем, среднее значение составило 168,7 см, что также указывает на различия в общей крупности и развитии животных.

Средний обхват груди составил 203,5 см, обхват пясти – 21,5 см, при этом максимальные показатели у линий Салем и Майлан, минимальные – у линии Замок.

В целом морфологические показатели линейных коров достаточно однородны: линии Салем и Майлан несколько отличаются большей крупностью и мощным костяком, тогда как линии Замок и Байкал демонстрируют более компактное телосложение.

Оценка коэффициентов наследуемости показала, что генотип оказывает относительно низкое влияние на проявление и изменчивость основных признаков коров. Наименьший уровень наследуемости отмечен для обхвата пясти ($h^2 = 0,05$) и живой массы ($h^2 = 0,15$), тогда как наиболее высокая наследуемость выявлена у молочности ($h^2 = 0,35$) и ширины груди ($h^2 = 0,28$) (рис. 1).

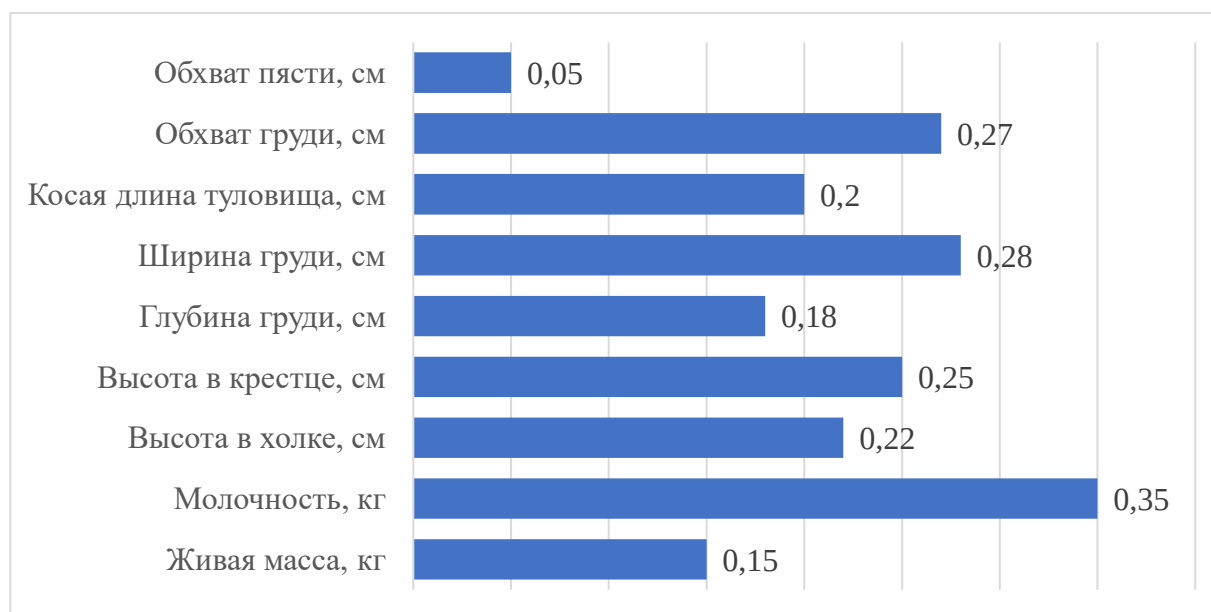


Рисунок 1 – Коэффициент наследуемости признаков у коров 5 лет и старше

В условиях КХ «Сұлтан» для улучшения таких показателей, как живая масса, глубина груди и косая длина туловища, целесообразно проводить заказное спаривание родительских форм. Использование лучших линий быков-производителей позволит повысить продуктивные и морфологические характеристики стада.

Для повышения генетического потенциала целесообразно привлекать неродственных животных из других регионов. При этом их отбор следует осуществлять в соответствии с требованиями бонитировки и параметрами, рассчитанными для конкретного хозяйства.

Обсуждение. Полученные результаты показывают, что генеалогическая структура и возрастной состав стада характеризуются значительным разнообразием заводских линий, при этом наибольший удельный вес занимают линии Майлан 13851 и Байкал 442, что обеспечивает стабильный генетический потенциал хозяйства. Возрастная структура поголовья сбалансирована: линии с большим числом телок, такие как Майлан 13851 и Замок 3035, способствуют активному обновлению стада, а линии с равномерным распределением по возрастным группам, например Байкал 442 и Салем 12747, создают основу для устойчивой продуктивности и рационального использования маточного поголовья. Аналогичные данные приводятся рядом исследователей [1, с.10; 2, с.97; 3, с.39], которые отмечают, что разнообразие заводских линий и сбалансированная возрастная структура стада являются ключевыми факторами поддержания высокой продуктивности и устойчивого генетического потенциала хозяйств, занимающихся разведением казахской белоголовой породы.

Анализ продуктивных показателей показал, что средние значения живой массы, молочности и экстерьера по выборке превышают средние показатели по стаду и соответствуют стандарту породы, что подтверждается результатами ранее проведенных исследований [16, с.250 – 255]. Линии с высокой молочностью, такие как Король 13582 и Замок 3035, целесообразно использовать для повышения продуктивности стада, тогда как линии с выраженными экстерьерными качествами и большой живой массой, например, Салем 12747 и Майлан 13851, важны для сохранения типичных породных признаков и улучшения мясной составляющей стада. Такие различия согласуются с научными данными о взаимо-

связи между продуктивными и экстерьерными показателями у племенного стада, где линии с высокой молочностью способствуют улучшению репродуктивного потенциала, а линии с выраженными экстерьерными качествами и большой живой массой обеспечивают стабильное сохранение породных признаков. При этом селекционный отбор по молочности и живой массе позволяет одновременно повышать эффективность воспроизводства и улучшать мясную продуктивность поголовья [4, с.37; 5, с.35]. Кроме того, всесторонняя оценка продуктивных показателей с учётом линейной принадлежности, происхождения и экстерьерных особенностей позволяет более обоснованно планировать селекционно-племенную работу, рационально распределяя маточное поголовье для сохранения баланса между повышением молочной продуктивности и закреплением характерных породных признаков [13, с.30].

Морфологические показатели полновозрастных коров демонстрируют относительную однородность, при этом линии Салем и Майлан отличаются большей крупностью и мощным костяком, а линии Замок и Байкал имеют более компактное телосложение. Различия в развитии морфологических признаков отражают специфику конституции животных и позволяют планировать селекционную работу с учетом целевых направлений. Наши исследования согласуются с ранее проведёнными работами [6, с. 57; 7, с.38; 8, с.50; 9, с.275], которые подчеркивают значимость учета морфологических и продуктивных характеристик при формировании маточного поголовья в стадах казахской белоголовой породы.

Наследуемость основных продуктивных показателей у казахской белоголовой породы варьируется в зависимости от принадлежности животных к заводским линиям, происхождения и условий содержания. Исследования коэффициентов наследуемости позволяет рационально планировать селекционно-племенную работу, оптимизируя баланс между продуктивностью, экстерьером и сохранением генетического разнообразия [11, с. 15; 14, с.283]. Нашими исследованиями установлено, что генотип оказывает умеренное влияние на большинство признаков. Наибольшая наследуемость отмечена по молочности и ширине груди, что делает эти признаки перспективными для селекции. Признаки живой массы и обхвата пясти менее наследуемы, что свидетельствует о высокой степени консолидации популяции по этим параметрам.

Закключение. Результаты исследований показали, что животные различных заводских линий казахской белоголовой породы достоверно различаются по живой массе, молочности и морфологическим показателям.

Наибольшая живая масса отмечена у линии Салем 12747, наименьшая – у линии Замок 3035. Линии Король 13582 и Замок 3035 характеризуются высокой молочностью, тогда как коровы линии Коппертон 150к имели низкую молочность.

Лучшие показатели по экстерьеру были у животных линий Салем 12747 и Майлан 13851, а наименьшие – у Коппертон 150к и Замок 3035.

Таким образом, для повышения генетического потенциала стада целесообразно проводить заказное спаривание родительских форм с использованием лучших линий быков-производителей, а также привлекать неродственных животных из других регионов. Отбор новых животных следует осуществлять с учетом бонитировки и параметров, рассчитанных для конкретного хозяйства. Это позволит поддерживать баланс между продуктивностью, экстерьером и обновлением стада.

В целом, структура и показатели поголовья КХ «Сұлтан» свидетельствуют о высоком генетическом потенциале, сбалансированности стада и возможности целенаправленной селекции для повышения молочной и мясной продуктивности при сохранении породных качеств.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках инициативной научной темы, входящей в План научно-исследовательских работ Западно-Казахстанского аграрно-технического университета, и не имело целевого внешнего финансирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Айтжанова И.Н., Джуламанов Е.Б., Джуламанов К.М., Хайнацкий В.Ю., Никулин В.Н. Воспроизводительная способность телок разных генотипов [Текст] / И.Н. Айтжанова, Е.Б. Джуламанов, К.М. Джуламанов, В.Ю. Хайнацкий, В.Н. Никулин // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2019. – № 4 (57). – С. 6–12.
2. Бактыгалиева А.Т., Джуламанов К.М., Ухтверов А.М., Герасимов Н.П. Продуктивные и биологические качества молодняка казахской белоголовой породы разных генотипов [Текст] / А.Т. Бактыгалиева, К.М. Джуламанов, А.М. Ухтверов, Н.П. Герасимов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии, 2019. – № 2. – С. 94–101.
3. Бозымов, К.К. Современное состояние и перспективы развития мясного скотоводства Казахстана / К.К. Бозымов // Вестник мясного скотоводства. – Оренбург, 2010. – №63 – С.37-43.
4. Дубовскова М.П., Колпаков В.И., Ворожейкин А.М., Киц Е.А. Формирование генеалогической структуры герефордов по гено- и фенотипическим признакам [Текст] / М.П. Дубовскова, В.И. Колпаков, А.М. Ворожейкин, Е.А. Киц // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 2 (98). – С. 30–38.
5. Дубовскова М.П., Макаев Ш.А., Түлебаев С.Д., Гонтыурев В.А., Герасимов Н.П. Создание заводской линии быка-производителя Зоркого 3433к казахской белоголовой породы [Текст] /

М.П. Дубовскова, Ш.А. Макаев, С.Д. Тюлебаев, В.А. Гонтюрев, Н.П. Герасимов // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 4. – (100). – С. 32–39.

6. **Естанов А.К., Нюренберг А.С. Совершенствование и разведение существующих заводских линий комолого типа казахской белоголовой породы в ТОО «Племзавод Алабота»** [Текст] / А.К. Естанов, А.С. Нюренберг // Актуальные проблемы науки и образования в области естественных и сельскохозяйственных наук. – 2018. – Т. 1. – № 1. – С. 56–60.

7. **Жаркенова Ю.Ю., Гумеров М.Б., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Откормочные и мясные качества молодняка казахской белоголовой породы разных линий** [Текст] / Ю.Ю. Жаркенова, М.Б. Гумеров, М.Б. Ребезов, С.Ю. Харлап // Молодежь и наука. – 2019. – № 5–6. – С. 35–39.

8. **Жаркенова Ю.Ю., Гумеров М.Б., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Эффективность выращивания молодняка казахской белоголовой породы разных линий** [Текст] / Ю.Ю. Жаркенова, М.Б. Гумеров, М.Б. Ребезов, С.Ю. Харлап // Молодежь и наука. – 2019. – № 7–8. – С. 48–51.

9. **Гонтюрев В.А., Искандерова А.П., Христиановский П.И., Белоусов А.М. Племенная и генетическая характеристика стада казахской белоголовой породы** [Текст] / В.А. Гонтюрев, А.П. Искандерова, П.И. Христиановский, А.М. Белоусов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 6 (80). – С. 273–276.

10. **Гонтюрев В.А., Тюлебаев С.Д., Макаев Ш.А. Результаты оценки создаваемых новых линий казахской белоголовой породы** [Текст] / В.А. Гонтюрев, С.Д. Тюлебаев, Ш.А. Макаев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (71). – С. 207–210.

11. **Козлова Н.Н., Гостева Е.Р., Замыгин С.Н., Улимбашев М.Б. Оценка линий, использованных при внутривидовом подборе для повышения генетического потенциала казахской белоголовой породы** [Текст] / Н.Н. Козлова, Е.Р. Гостева, С.Н. Замыгин, М.Б. Улимбашев // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2019. – Т. 8. – № 2. – С. 11–16.

12. **Макаев Ш.А., Рысев А.Ф., Тайгузин Р.Ш. Заводской тип «Заволжский» казахского белоголового скота** [Текст] / Ш.А. Макаев, А.Ф. Рысев, Р.Ш. Тайгузин // Инновационное направление науки. – 2018. – С. 77–83.

13. **Макаев Ш.А., Тайгузин Р.Ш., Фомин А.В., Сарыбаев С.А. Метод чистопородного разведения по линиям в совершенствовании казахского белоголового скота** [Текст] / Ш.А. Макаев, Р.Ш. Тайгузин, А.В. Фомин, С.А. Сарыбаев // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101. – № 2. – С. 25–33.

14. **Макаев Ш.А., Тайгузин Р.Ш., Ляпин О.А., Фомин А.В. Генетическая характеристика казахского белоголового скота** [Текст] / Ш.А. Макаев, Р.Ш. Тайгузин, О.А. Ляпин, А.В. Фомин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 6 (80). – С. 281–285.

15. **Насамбаев Е.Г., Ахметалиева А.Б., Нугманова А.Е., Жумаева А.К., Досжанова А.О., Зинулина Г.Б. Возрастные и генотипические особенности воспроизводительных качеств скота заводских линий казахской белоголовой породы** [Текст] / Е.Г. Насамбаев, А.Б. Ахметалиева, А.Е. Нугманова, А.К. Жумаева, А.О. Досжанова, Г.Б. Зинулина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 6 (74). – С. 194–197.

16. **Насамбаев Е., Нугманова А.Е., Толеп Т. Рост и развитие молодняка казахской белоголовой породы различных генотипов** [Текст] / Е. Насамбаев, А.Е. Нугманова, Т. Толеп // Вестник науки. – 2020. – Т. 1. – № 6 (27). – С. 249–263.

17. **Сушков В.С., Лобанов К.Н., Антипов А.Е. Совершенствование мясного скотоводства в условиях Тамбовской области** [Текст] / В.С. Сушков, К.Н. Лобанов, А.Е. Антипов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3. – С. 75–81.

18. **Плохинский Н. А. Биометрия** [Текст] / Н.А. Плохинский. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 367 с.

REFERENCES:

1. **Ajtzhanova I.N., Dzhulamanov E.B., Dzhulamanov K.M., Hajnackij V.Yu., Nikulin V.N. Vosproizvoditel'naya sposobnost' telok razny'h genotipov** [Reproductive capacity of heifers of different genotypes]. *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova*, 2019, no. 4, vol. 57, pp. 6–12. (In Russian)

2. **Baktygalieva A.T., Dzhulamanov K.M., Uhtverov A.M., Gerasimov N.P. Produktivny'e i biologicheskie kachestva molodnyaka kazahskoj belogolovoj porody' razny'h genotipov** [Productive and biological qualities of young Kazakh white-headed cattle of different genotypes]. *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2019, no. 2, pp. 94–101. (In Russian)

3. **Bozymov K.K. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy' razvitiya myasnogo skotovodstva Kazahstana** [The current state and prospects for the development of beef cattle farming in Kazakhstan]. *Vestnik myasnogo skotovodstva*, 2010, no. 63, pp. 37–43. (In Russian)

4. **Dubovskova M.P., Kolpakov V.I., Vorozhejkin A.M., Kic E.A. Formirovanie genealogicheskoy struktury' gerefordov po geno- i fenotipicheskim priznakam** [Formation of the genealogical structure of Hereford cattle based on genetic and phenotypic characteristics]. *Vestnik myasnogo skotovodstva*, 2017, no. 2 vol. 98, pp. 30–38. (In Russian)

5. Dubovskova M.P., Makaev Sh.A., Tyulebaev S.D., Gontyurev V.A., Gerasimov N.P. **Sozdanie zavodskoj linii by'ka-proizvoditelya Zorkogo 3433k kazahskoj belogolovoj porody'** [Creation of a breeding line of the Zorkiy bull 3433k of the Kazakh white-headed breed]. *Vestnik myasnogo skotovodstva*, 2017, no. 4, vol. 100, pp. 32–39. (In Russian)
6. Estanov A.K., Nyurenberg A.S. **Sovershenstvovanie i razvedenie sushhestvuyushih zavodskih linij komologo tipa kazahskoj belogolovoj porody' v TOO «Plemzavod Alabota»** [Improvement and breeding of existing stud lines of the Kazakh white-headed breed at Alabota Stud Farm LLP]. *Aktual'ny'e problemy' nauki i obrazovaniya v oblasti estestvenny'h i sel'skohozyajstvenny'h nauk*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 56–60. (In Russian)
7. Zharkenova Yu.Yu., Gumerov M.B., Rebezov M.B., Harlap S.Yu. **Otkormochny'e i myasny'e kachestva molodnyaka kazahskoj belogolovoj porody' razny'h linij** [Fattening and meat qualities of young animals of the Kazakh white-headed breed of different lines]. *Molodezh' i nauka*, 2019, no. 5–6, pp. 35–39. (In Russian)
8. Zharkenova Yu.Yu., Gumerov M.B., Rebezov M.B., Harlap S.Yu. **E'fektivnost' vy'rashhivaniya molodnyaka kazahskoj belogolovoj porody' razny'h linij** [The effectiveness of rearing young stock of the Kazakh white-headed breed of different lines]. *Molodezh' i nauka*, 2019, no. 7–8, pp. 48–51. (In Russian)
9. Gontyurev V.A., Iskanderova A.P., Hristianovskij P.I., Belousov A.M. **Plemennaya i geneticheskaya harakteristika stada kazahskoj belogolovoj porody'** [Breeding and genetic characteristics of the Kazakh white-headed breed herd]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, no. 6, vol. 80, pp. 273–276. (In Russian)
10. Gontyurev V.A., Tyulebaev S.D., Makaev Sh.A. **Rezul'taty' ocenki sozdavaemy'h novy'h linij kazahskoj belogolovoj porody'** [Results of the evaluation of new lines of the Kazakh white-headed breed being created]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 3 vol. 71, pp. 207–210. (In Russian)
11. Kozlova N.N., Gosteva E.R., Zamygin S.N., Ulmbashev M.B. **Ocenka linij, ispol'zovanny'h pri vnutripородном подборе dlya povy'sheniya geneticheskogo potentsiala kazahskoj belogolovoj porody'** [Evaluation of lines used in intrabreed selection to increase the genetic potential of the Kazakh white-headed breed]. *Sbornik nauchny'h trudov Krasnodarskogo nauchnogo centra po zootehnii i veterinarii*, 2019, vol. 8, no. 2, pp. 11–16. (In Russian)
12. Makaev Sh.A., Rysev A.F., Tajguzin R.Sh. **Zavodskoj tip «Zavolzhsnij» kazahskogo belogolovogo skota** [Zavolzhs stud type of Kazakh white-headed cattle]. *Innovacionnoe napravlenie nauki*, 2018, pp. 77–83. (In Russian)
13. Makaev Sh.A., Tajguzin R.Sh., Fomin A.V., Sarybaev S.A. **Metod chistopородного razvedeniya po liniyam v sovershenstvovanii kazahskogo belogolovogo skota** [The method of purebred breeding by lines in the improvement of Kazakh white-headed cattle]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 2018, vol. 101, no. 2, pp. 25–33. (In Russian)
14. Makaev Sh.A., Tajguzin R.Sh., Lyapin O.A., Fomin A.V. **Geneticheskaya harakteristika kazahskogo belogolovogo skota** [Genetic qualities of Kazakh white-headed cattle]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, no. 6, vol. 80, pp. 281–285. (In Russian)
15. Nasambaev E.G., Ahmetalieva A.B., Nugmanova A.E., et al. **Vozrastny'e i genotipicheskie osobennosti vosproizvoditel'ny'h kachestv skota zavodskih linij kazahskoj belogolovoj porody'** [Age and genotypic characteristics of reproductive qualities in livestock of the Kazakh white-headed breed]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 6, vol. 74, pp. 194–197. (In Russian)
16. Nasambaev E., Nugmanova A.E., Tolep T. **Rost i razvitie molodnyaka kazahskoj belogolovoj porody' razlichny'h genotipov** [Growth and development of young Kazakh white-headed cattle of various genotypes]. *Vestnik nauki*, 2020, no. 6 vol. 27, pp. 249–263. (In Russian)
17. Sushkov V.S., Lobanov K.N., Antipov A.E. **Sovershenstvovanie myasnogo skotovodstva v usloviyah Tambovskoj oblasti** [Improving beef cattle farming in the Tambov region]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 3, pp. 75–81. (In Russian)
18. Plohinskij N.A. **Biometriya** [Biometrics]. Moscow, Izdatel'stvo MGU, 1970, 367 p. (In Russian)

Сведения об авторах:

Губашев Нуркен .Маратович* – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, 51, e-mail: gubashevnrurken@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>.

Кулбаев Рухан Мадиярович – PhD, старший преподаватель, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, e-mail: Rukhan89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9143-7264>.

Шукуров Марклен Жексенович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана» Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, e-mail: shukurov.marklen@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9665-1814>.

Амангалиев Тлеген Гарипович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана 51, e-mail: tlegenag@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9138-3059>.

Губашев Нуркен Маратович* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, доцент, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 090000 Орал қ., <https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>, gubashevnrken@gmail.com.

Күлбаев Рұхан Мадиярович – PhD, аға оқытушы, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 090000 Орал қ., Rukhan89@mail.ru orcid.org/0000-0001-9143-7264.

Шукуров Марклен Жексенович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 090000 Орал қ., <https://orcid.org/0000-0002-9665-1814>, shukurov.marklen@mail.ru.

Амангалиев Тлеген Гарипович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы 090000 Орал қ., Жәңгір хан көш 51, <https://orcid.org/0000-0001-9138-3059>, tlegenag@mail.ru.

Gubashev Nurken Maratovich* – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 51 Zhangir Khan Str., e-mail: gubashevnrken@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>.

Kulbayev Rukhan Madiyarovich – PhD, Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, e-mail: Rukhan89@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9143-7264>.

Shukurov Marklen Zheksenovich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, e-mail: shukurov.marklen@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9665-1814>.

Amangaliyev Tlegen Garipovich – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian-Technical University NPJSC, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 51 Zhangir Khan Str., e-mail: tlegenag@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0001-9138-3059>.

МРНТИ 87.21.15

УДК 631.453

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621125>

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ФИЛЬТРАТОВ ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ИХ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ АГРОЦЕНОЗОВ

Курманбаева А.С. – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Баязитова З.Е.* – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Сафронова Н.М. – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Жапарова С.Б. – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, НАО «Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

В работе проведена комплексная агрохимическая оценка загрязнения почв и фильтрата действующих полигонов твёрдых бытовых отходов Акмолинской области Республики Казахстан с целью выявления миграционных механизмов загрязняющих веществ и оценки экологического риска для агроценозов. Исследование основано на анализе композитных проб почв и фильтрата, отобранных на 15 полигонах ТБО и контрольном участке. Для интегральной оценки загрязнения использованы показатель суммарного загрязнения (Z_c) и индекс геоаккумуляции (I_{geo}), рассчитанные с применением локального фоновый уровня. Миграционные связи между компонентами системы «фильтрат–почва» проанализированы с использованием коэффициента корреляции Пирсона и визуализированы с помощью тепловых карт.

Установлено, что загрязнение почв в зоне влияния полигонов носит хронический и диффузный характер, часто проявляясь в латентной форме без превышения санитарных нормативов. Доминирующим элементом суммарного загрязнения является цинк, тогда как кадмий формирует устойчивый техногенный фон, выявляемый по значениям I_{geo} даже при низких концентрациях в фильтрате. Локальные очаги накопления ртути и свинца характеризуются повышенной экологической значи-

мостью. Анализ фильтрата показал высокую степень минерализации и преобладание труднорастворимых органических соединений, способствующих миграции токсичных элементов. Корреляционный анализ подтвердил ключевую роль фильтрата в формировании вторичного загрязнения почв, особенно для Cd, As, Pb и K.

Полученные результаты обосновывают необходимость применения интегральных индексов и риск-ориентированного подхода при экологической оценке полигонов ТБО и мониторинге состояния агроландшафтов.

Ключевые слова: загрязнение почв, полигоны ТБО, тяжелые металлы, фильтрат, экологический риск, агроценозы, геохимические индексы загрязнения

ҚАТТЫ ТҰРМЫСТЫҚ ҚАЛДЫҚТАР ПОЛИГОНДАРЫ ТОПЫРАҚТАРЫ МЕН ФИЛЬТРАТТАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН АГРОХИМИЯЛЫҚ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ АГРОЦЕНОЗДАР ҮШІН ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІП-ҚАТЕРДІ ҚАЛЫПТАСТЫРУДАҒЫ РӨЛІ

Құрманбаева А.С. – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Баязитова З.Е.* – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Сафронова Н.М. – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Жапарова С.Б. – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Қазақстан Республикасының Ақмола облысындағы қатты тұрмыстық қалдықтар (ҚТҚ) полигондарының топырақтары мен фильтраттарының ластануына кешенді агрохимиялық баға беріліп, ластаушы заттардың миграциялық механизмдері анықталып, агроценоздар үшін экологиялық қауіп-қатер деңгейі бағаланды. Зерттеу 15 ҚТҚ полигонында және бір бақылау учаскесінде алынған топырақ пен фильтраттың композиттік үлгілерін талдауға негізделген. Ластанудың интегралды бағасын алу үшін жергілікті фон деңгейін ескере отырып есептелген суммарлық ластану көрсеткіші (Zc) және геоаккумуляция индексі (Igeo) қолданылды. «Фильтрат–топырақ» жүйесіндегі миграциялық байланыстар Пирсон корреляция коэффициенті арқылы талданып, жылулық карталар көмегімен визуализацияланды.

Зерттеу нәтижесінде полигондар әсер ететін аймақтарда топырақ ластануының созылмалы және диффузиялық сипатта екені, көптеген жағдайларда санитарлық нормативтерден асусыз латентті түрде көрінетіні анықталды. Суммарлық ластануда негізгі элемент ретінде мырыш басым болды, ал кадмий фильтраттағы төмен концентрацияларына қарамастан Igeo мәндері бойынша тұрақты техногендік фон қалыптастыратыны көрсетілді. Сынап пен қорғасынның локальды жиналу ошақтары экологиялық тұрғыдан жоғары маңыздылығымен ерекшеленеді. Фильтрат құрамын талдау оның жоғары минералданғанын және қиын ыдырайтын органикалық қосылыстардың басым екенін көрсетті, бұл улы элементтердің миграциясын күшейтеді. Корреляциялық талдау фильтраттың топырақтың екінші реттік ластануын қалыптастырудағы шешуші рөлін, әсіресе Cd, As, Pb және K элементтері үшін, растады.

Алынған нәтижелер ҚТҚ полигондарын экологиялық бағалау мен агроландшафттардың жағдайын мониторингтеу кезінде интегралды индекстерді және қауіп-қатерге бағдарланған тәсілді қолданудың қажеттілігін негіздейді.

Түйінді сөздер: топырақтың ластануы, ҚТҚ полигондары, ауыр металдар, фильтрат, экологиялық қауіп-қатер, агроценоздар, геохимиялық ластану индекстері.

AGROCHEMICAL ASSESSMENT OF SOIL AND LEACHATE CONTAMINATION AT MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS AND THEIR ROLE IN FORMING ECOLOGICAL RISK FOR AGROCENOSSES

Kurmanbayeva A.S. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Bayazitova Z.Ye.* – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Safronova N.M. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Zhaparova S.B. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

This study presents a comprehensive agrochemical assessment of soil and leachate contamination at operating municipal solid waste (MSW) landfills in the Akmola region of the Republic of Kazakhstan, aimed at identifying pollutant migration mechanisms and assessing ecological risks for agrosystems. The research is

based on the analysis of composite soil and leachate samples collected from 15 MSW landfills and one control site. To conduct an integrated assessment of contamination, the total contamination index (Z_c) and the geoaccumulation index (I_{geo}) were calculated using a local background level. Migration relationships within the "leachate–soil" system were analyzed using Pearson correlation coefficient and visualized through heat maps.

The results indicate that soil contamination in landfill impact zones is chronic and diffuse in nature, often occurring in a latent form without systematic exceedance of sanitary standards. Zinc was identified as the dominant contributor to total contamination, whereas cadmium forms a stable technogenic background, revealed by elevated I_{geo} values even at low concentrations in leachate. Localized accumulation of mercury and lead is characterized by increased ecological significance. Leachate analysis showed a high degree of mineralization and a predominance of poorly biodegradable organic compounds, which facilitate the migration of toxic elements. Correlation analysis confirmed the key role of leachate in the formation of secondary soil contamination, particularly for Cd, As, Pb, and K.

The obtained results substantiate the necessity of applying integrated indices and a risk-oriented approach in the environmental assessment of MSW landfills and in monitoring the condition of agricultural landscapes.

Keywords: soil contamination, municipal solid waste landfills, heavy metals, leachate, ecological risk, agrosystems, geochemical pollution indices.

Введение. В условиях роста объёмов образования твёрдых бытовых отходов и ограниченного внедрения современных технологий их переработки полигоны ТБО остаются основным источником длительного техногенного воздействия на компоненты окружающей среды [1, с. 45]. Одним из ключевых факторов экологической опасности полигонов является образование фильтрата – высокоминерализованной многокомпонентной среды, содержащей органические вещества, тяжёлые металлы и другие токсиканты, способные мигрировать в почвы и вовлекаться в биогеохимические циклы [2, с. 62, 3, с. 182].

Согласно современным концепциям экологической геохимии и техногенного почвообразования, почвы в зоне влияния полигонов ТБО функционируют как аккумуляционно-трансформационные среды, в которых происходит перераспределение и накопление загрязняющих веществ, в том числе элементов I–II классов опасности (Cd, Pb, Hg, As) [4, с. 263, 5, с. 145].

При этом фильтрат рассматривается не только как источник загрязнения водных объектов, но и как ключевой механизм вторичного загрязнения почвенного покрова, особенно в условиях отсутствия инженерных систем его сбора и очистки [6, с. 52, 7, с. 63, 8, с. 85, 9, с. 78].

Для аграрно ориентированных регионов, к которым относится Акмолинская область Республики Казахстан, проблема загрязнения почв вблизи полигонов ТБО приобретает особую значимость [10, с. 86]. Почвы, используемые в сельскохозяйственном обороте или находящиеся в непосредственной близости от агроценозов, при накоплении тяжёлых металлов могут становиться источником загрязнения сельскохозяйственной продукции [11, с. 145, 12, с. 99] и представлять угрозу продовольственной безопасности [13, с. 44].

С позиций законодательства Республики Казахстан, охрана почв и предотвращение их деградации являются приоритетными направлениями экологической политики. В соответствии с Экологическим кодексом РК от 2 января 2021 года № 400-VI ЗПК «Охране от уничтожения, деградации, истощения, повреждения, загрязнения или иного вредного воздействия подлежат все компоненты природной среды, включая почвы» – что подчёркивает обязательство государства предотвращать и устранять негативные воздействия на земельные ресурсы [14]. Предотвращение негативного воздействия отходов на земельные ресурсы и обеспечение экологической безопасности агроэкосистем входит в число обязательных задач при эксплуатации объектов размещения отходов. Аналогичные положения закреплены в Земельном кодексе РК и санитарных нормативах, регламентирующих предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в почвах сельскохозяйственного назначения [15].

Несмотря на наличие нормативных требований, на практике экологический контроль полигонов ТБО зачастую ограничивается оценкой отдельных показателей и не учитывает интегральный характер загрязнения и миграционные процессы между фильтратом и почвенным покровом [16, с. 89]. В этом контексте применение интегральных индексов загрязнения (Z_c) и индекса геоаккумуляции (I_{geo}) [17, с. 205] соответствует современному риск-ориентированному подходу к экологической оценке, широко используемому в международных исследованиях для диагностики диффузного и латентного загрязнения почв [4, с. 305].

Особую научную и практическую значимость представляет выявление взаимосвязей между химическим составом фильтрата и почв, поскольку именно такие связи позволяют обосновать механизмы миграции тяжёлых металлов, отличить антропогенные источники от фоновых и перейти от констатации загрязнения к его причинно-следственной интерпретации [18, с. 99].

Целью настоящего исследования является проведение комплексной агрохимической оценки загрязнения почв и фильтрата полигонов твёрдых бытовых отходов Акмолинской области Республики Казахстан, выявление миграционных механизмов загрязняющих веществ в системе «фильтрат–почва» и оценка экологического риска для агроценозов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи**:

1. Провести агрохимическую оценку почв в зоне влияния полигонов ТБО и определить содержание тяжёлых металлов и других загрязняющих веществ.

2. Исследовать химический состав фильтрата полигонов ТБО и выявить его роль как источника вторичного загрязнения почвенного покрова.
3. Выполнить интегральную оценку уровня загрязнения почв с использованием геохимических индексов (Z_c и I_{geo}) с учётом локального фонового уровня.
4. Проанализировать миграционные связи в системе «фильтрат–почва» на основе корреляционного анализа и выявить ключевые элементы-загрязнители.
5. Оценить характер и степень экологического риска загрязнения почв для агроценозов и обосновать применение риск-ориентированного подхода при мониторинге агроландшафтов.

Методы и материалы

Объектом исследования являлись почвы и фильтрат действующих и несанкционированных полигонов твёрдых бытовых отходов (ТБО), расположенных в пределах Акмолинской области Республики Казахстан (рисунок 1).



Рисунок 1 – Расположение исследуемых полигонов ТБО на территории Акмолинской области

В исследование были включены 15 полигонов твёрдых бытовых отходов различного эксплуатационного статуса, а также контрольные участки. Контрольные пробы почв и фильтрата отбирались на территориях, расположенных вне зоны влияния полигонов ТБО, на расстоянии не менее 5–10 км от ближайшего объекта, при сопоставимых природных условиях (тип почвы, рельеф и характер землепользования). Полевые и лабораторные исследования проводились в период с августа по октябрь 2025 года, что соответствует позднему вегетационному периоду и позволяет оценить устойчивое техногенное воздействие полигонов на почвенный покров и агроценозы. Отбор почвенных проб осуществлялся по стандартной схеме точечного отбора: на каждом объекте отбирали по десять индивидуальных проб с глубины 0–20 см. Для повышения репрезентативности применялся метод композитных проб, формируемых путём объединения равных навесок индивидуальных образцов в пределах одного полигона (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание элементов в композитных пробах почв

Полигон	Al	Cd	Ca	Co	Mg	Pb	Hg	As	K	Cr	Zn	Cu	Mo	Sn
ПДК	н/н	н/н	н/н	5,0	н/н	32,0	2,1	2,0	н/н	6,0	23,0	3,0	н/н	н/н
Бурабай	2,665	0,60	344,3	1,44	47,40	33,5	0,10	2,042	251,1	5,6	32,1	2,06	0,50	1,1
Кокшетау	0,041	1,60	2164	2,04	186,6	40,36	1,9	2,8	291,0	6,3	45,6	2,8	0,8	2,6
Зеренда	0,065	1,30	1157	1,041	109,4	26,5	0,6	1,246	335,1	4,5	36,8	2,4	0,9	1,3
Щучинск	0,326	1,05	861,2	0,84	60,32	34,2	0,5	1,2	152,5	5,1	39,4	3,2	0,26	1,02
Макинск	6,169	1,06	156,8	0,84	17,64	26,9	0,7	0,9	236,1	4,9	29,35	1,59	0,5	0,9
Степняк	0,101	0,96	842,9	0,75	101,4	21,3	0,3	0,429	43,66	4,3	19,25	2,8	0,2	0,9
Державинск	0,293	0,85	697,9	1,04	60,65	35,6	0,3	1,423	156,1	4,1	14,25	2,3	0,3	0,8
Степногорск	0,01	0,50	3175	1,04	141,1	41,2	1,9	2,136	168,1	3,2	18,26	2,14	0,8	0,9
Есиль	18,11	0,94	220,6	1,35	16,91	29,2	1,8	1,75	172,7	4,03	20,14	2,05	0,2	0,9
Акмол	1,142	0,46	404,0	1,42	48,53	16,3	0,8	0,756	238,3	4,26	18,25	2,054	0,2	1,0
Ерейментау	0,126	1,10	708,8	1,04	83,43	16,9	0,03	1,015	313,8	4,25	20,35	2,049	0,125	1,1
Атбасар	0,101	0,43	842,9	2,10	101,4	14,6	0,62	1,856	43,66	4,19	32,5	2,47	0,2	0,8

Продолжение таблицы 1

Аршалы	0,293	0,74	697,9	0,74	60,65	11,2	0,10	1,016	156,1	5,75	30,4	1,45	0,59	0,6
Акколь	0,01	1,02	3175	0,98	141,1	9,08	0,10	1,31	168,1	4,26	25,26	1,46	0,89	0,8
Егиндыколь	18,11	0,82	220,6	0,83	16,91	8,29	0,16	0,944	172,7	4,16	24,36	1,75	0,2	0,9
Контроль	0,126	0,01	708,8	0,80	83,43	5,04	0,30	0,89	313,8	2,9	13,5	0,87	0,125	0,6

Дополнительно при формировании композитных проб учитывались функциональные зоны полигонов: тело полигона и прилегающая территория в радиусе до 50 м. от его границы, что позволило получить интегральную характеристику загрязнения почвенного покрова в зоне прямого техногенного воздействия.

Отбор проб фильтрата осуществлялся независимо от точек отбора почвенных проб, поскольку формирование инфильтрационных вод на полигонах ТБО носит пространственно неоднородный и эпизодический характер и не имеет жёсткой привязки к поверхностным координатам.

Пробы фильтрата отбирались из зон естественного выхода фильтрата на поверхность (подошва тела полигона, откосы) на полигонах, не оборудованных инженерными системами сбора фильтрата.

В условиях отсутствия фильтрата в сухой период отбор проб проводился после выпадения атмосферных осадков (дождей), с интервалом 12–48 часов после осадков. При каждом отборе фиксировались гидрометеорологические условия (дата, характер и интенсивность осадков), что позволяло корректно интерпретировать полученные результаты.

Для каждого полигона формировались композитные пробы фильтрата путём объединения равных объёмов нескольких отдельных проб, отобранных в различных точках выхода фильтрата или в разные временные интервалы, табл. 2-3. Такой подход обеспечивал получение интегральной характеристики химического состава фильтрата и снижал влияние кратковременных пиковых концентраций.

Отбор проб на контрольных участках осуществлялся аналогично отбору проб почв и фильтратов на полигонах ТБО. Для каждого участка отбиралось несколько точечных проб, из которых формировались композитные (усреднённые) пробы путём объединения равных навесок почвы и равных объёмов фильтрата.

Таблица 2 – Содержание элементов в композитных пробах фильтрата

Полигон	Al	Cd	Ca	Co	Mg	Pb	Hg	As	K	Cr	Zn	Cu	Mo	Sn
Бурабай	0,32	0,05	397	0,06	56	0,13	0,10	0,94	90,4	0,078	0,09	0,023	0,042	0,13
Кокшетау	0,03	0,01	179	0,01	24	0,26	0,70	0,03	30,1	0,002	0,02	0,004	0,001	0,03
Зеренда	0,29	0,01	196	0,13	30	0,148	0,16	0,22	337	0,030	0,07	0,022	0,028	0,15
Щучинск	0,02	0,03	92	0,16	16	0,19	0,35	0,05	15,3	0,03	0,07	0,07	0,08	0,02
Макинск	0,1	0,03	202	0,22	16	0,46	0,28	0,02	15,1	0,050	0,04	0,073	0,048	0,03
Степняк	0,30	0,06	376	0,58	59	0,41	0,01	0,05	73,7	0,086	0,03	0,092	0,001	0,03
Державинск	0,20	0,04	102	0,44	23	0,31	0,10	0,30	19,9	0,037	0,04	0,054	0,001	0,03
Степногорск	0,26	0,07	93	0,50	12	0,27	0,01	0,38	11,3	0,033	0,02	0,052	0,072	0,02
Есиль	0,1	0,03	202	0,19	16	0,36	0,21	0,69	14,9	0,050	0,03	0,070	0,048	0,03
Акмол	0,30	0,06	376	0,28	59	0,31	0,20	0,05	73,7	0,086	0,03	0,071	0,001	0,03
Ерейментау	0,2	0,04	102	0,24	23	0,11	0,02	0,09	19,9	0,037	0,03	0,034	0,001	0,04
Атбасар	0,3	0,07	93	0,5	12	0,17	0,09	0,08	11,3	0,033	0,02	0,022	0,072	0,03
Аршалы	0,1	0,03	202	0,22	16	0,46	0,03	0,02	14,9	0,054	0,03	0,073	0,052	0,04
Акколь	0,30	0,06	376	0,06	58,6	0,41	0,10	0,05	71,5	0,074	0,03	0,092	0,007	0,03
Егиндыколь	0,12	0,04	102	0,05	22,2	0,31	0,02	0,30	19,9	0,047	0,02	0,054	0,004	0,02
Контроль	0,02	0,03	92,1	0,05	11,8	0,19	0,01	0,05	11,3	0,03	0,02	0,005	0,008	0,02

Таблица 3 – Содержание показателей органического загрязнения в композитных пробах фильтрата

Полигон	ХПК	БПК ₅
Бурабай	260	5,5
Кокшетау	61	15,6
Зеренда	381	6,3
Щучинск	23	12,7
Макинск	17	15,7
Степняк	90	12,4
Державинск	30	12,6
Степногорск	150	11,7
Есиль	19	12,7
Акмол	50	10,4
Ерейментау	25	10,6
Атбасар	120	10,7

Продолжение таблицы 3

Аршалы	25	11,7
Акколь	50,0	13,4
Егиндыколь	18,0	11,6
Контроль	10,0	1,0

Лабораторный анализ композитных проб почв и фильтрата включал определение валового содержания макро- и микроэлементов, а также токсичных компонентов (Al, Cd, Ca, Co, Mg, Pb, Hg, As, K, Cr, Zn, Cu, Mo и Sn). Концентрации элементов выражались в мг/кг сухого вещества для почв и в мг/дм³ для фильтрата. Аналитические процедуры выполнялись в соответствии с действующими стандартами с применением атомно-абсорбционной спектроскопии и/или ИСП-методов. Полученные значения сопоставлялись с нормативами ПДК для почв сельскохозяйственного назначения, а для нерегулируемых элементов оценка проводилась на основе сравнительного анализа и их экологической значимости. Комплексная агрохимическая оценка включала анализ абсолютных концентраций, степени превышения нормативов и вклада приоритетных токсикантов (Cd, Pb, Hg, As, Cr, Zn, Cu) в общее загрязнение, с акцентом на элементы I–II классов опасности. Результаты интерпретировались с позиций экологического риска для агроценозов, включая потенциальную миграцию тяжёлых металлов из фильтрата в почву и их накопление в корнеобитаемом слое. Статистическая обработка данных включала расчёт описательных показателей, корреляционный анализ и интегральные индексы загрязнения. Для интегральной оценки использованы показатель суммарного загрязнения (Z_c) и индекс геоаккумуляции (I_{geo}), рассчитанные с применением контрольной композитной пробы (№16) в качестве фонового уровня. На первом этапе для каждого элемента i рассчитывали коэффициент концентрации относительно фона:

$$K_{c,i} = \frac{C_i}{C_{i,фон}} \quad (1)$$

где C_i – концентрация элемента в почве, мг/кг; $C_{i,фон}$ – фоновая концентрация по контрольной пробе, мг/кг. Интегральный показатель суммарного загрязнения определяли по формуле:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n (K_{c,i} - 1) \quad (2)$$

В расчёт включались элементы с $K_{c,i} > 1$; элементы с фоновыми значениями ($K_{c,i} \leq 1$) вклад в Z_c не вносили.

Индекс геоаккумуляции для каждого элемента рассчитывали по формуле:

$$I_{geo,i} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1.5 \cdot C_{i,фон}} \right) \quad (3)$$

где коэффициент 1,5 учитывает естественную вариабельность фоновых концентраций.

Использование контрольной пробы в качестве фонового уровня обеспечило корректное выявление техногенного обогащения и сопоставимость результатов между исследуемыми полигонами.

Результаты и обсуждение

Результаты анализа композитных проб почв показали, что химический состав почвенного покрова в зоне влияния действующих полигонов ТБО характеризуется выраженной пространственной неоднородностью и наличием локальных превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) по ряду токсичных элементов. На рисунке 2 показана частота превышений ПДК в почвах полигонов ТБО.

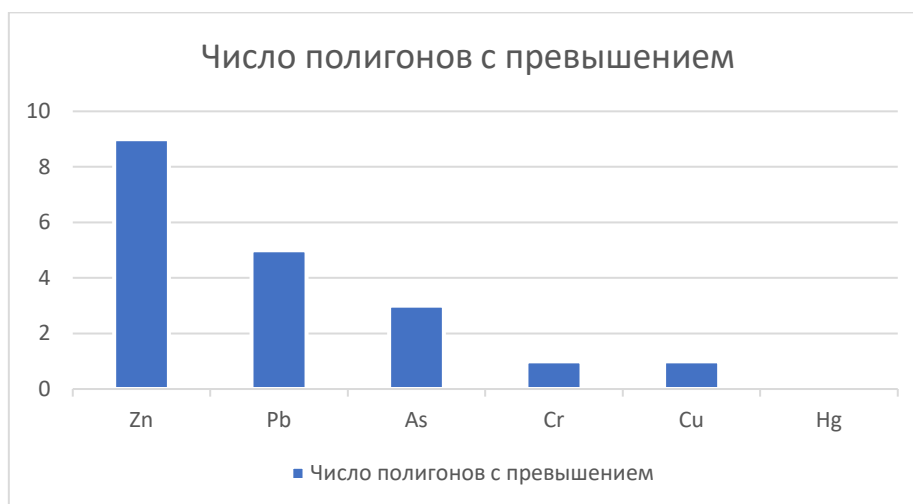


Рисунок 2 – Частота превышений ПДК в почвах полигонов ТБО

Наиболее частые превышения ПДК выявлены для цинка (Zn), концентрации которого превышали норматив (23 мг/кг) в 9 из 15 полигонов. Превышения по свинцу (Pb) зафиксированы на пяти объектах, а по мышьяку (As) – на трёх, что указывает на локальные очаги повышенного экологического риска, учитывая их высокую токсичность и способность к биоаккумуляции. Для ртути (Hg) превышений ПДК не отмечено, однако на отдельных полигонах её концентрации приближались к нормативным значениям, что требует повышенного внимания при мониторинге. В целом результаты свидетельствуют о хроническом техногенном воздействии полигонов ТБО, при котором доминирует загрязнение Zn как наиболее распространённого и подвижного элемента, тогда как Pb и As, несмотря на меньшую распространённость, имеют более высокий экологический приоритет.

Для комплексной оценки диффузного загрязнения почвенного покрова были рассчитаны интегральные показатели суммарного загрязнения (Zc) и индекс геоаккумуляции (Igeo) с использованием контрольной пробы в качестве фоновой уровня. В расчёты включались приоритетные токсиканты (Cd, Pb, Hg, As, Cr, Zn и Cu). В Таблице 4 представлены значения интегрального индекса суммарного загрязнения Zc, а также перечень приоритетных элементов, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) в почвах исследованных полигонов ТБО.

Таблица 4 – Значения интегрального индекса Zc для исследованных полигонов

Полигон	Zc	Приоритетные элементы	Число превышений ПДК	Уровень загрязнения*
Бурабай	69,95	Zn–Pb–As	3	Опасный
Кокшетау	180,26	Zn–Pb–As–Cr	4	Чрезвычайно опасный
Зеренда	139,69	Zn	1	Чрезвычайно опасный
Щучинск	117,16	Zn–Pb–Cu	3	Опасный
Макинск	114,37	Zn	1	Опасный
Степняк	101,84	нет превышений; относит. повышены: Cu–Zn	0	Опасный
Державинск	93,78	Pb	1	Опасный
Степногорск	65,82	Pb–As	2	Опасный
Есиль	107,0	нет превышений; относит. повышены: Pb–Zn	0	Опасный
Акмол	51,93	нет превышений; относит. повышены: Zn–Cr	0	Опасный
Ерейментау	113,92	нет превышений; относит. повышены: Zn–Cr	0	Опасный
Атбасар	50,74	Zn	1	Опасный
Аршалы	77,6	Zn	1	Опасный
Акколь	104,63	Zn	1	Опасный
Егиндыколь	84,49	Zn	1	Опасный
Шкала Zc: <16 допустимый; 16–32 умеренно опасный; 32–128 опасный; ≥128 чрезвычайно опасный.				

Значения Zc варьируют в диапазоне 50,7–180,3, что свидетельствует о существенной дифференциации полигонов по уровню суммарной техногенной нагрузки. Максимальные значения индекса зафиксированы для полигонов Кокшетау (Zc = 180,3) и Зеренда (Zc = 139,7), что соответствует категории чрезвычайно опасного загрязнения. Для остальных объектов значения Zc находятся в интервале 51,9–117,2, что соответствует опасному уровню загрязнения.

Анализ столбца «Приоритетные элементы» показал, что превышения ПДК носят селективный характер и различаются между полигонами. Наиболее часто превышения зафиксированы для цинка (Zn), который выявлен как приоритетный элемент в большинстве объектов. Превышения по свинцу (Pb) и мышьяку (As) носят локальный характер и отмечены преимущественно на полигонах с максимальными значениями Zc (Кокшетау, Щучинск, Бурабай, Степногорск).

В ряде полигонов (Ерейментау, Есиль, Степняк, Акмол) превышения ПДК по контролируемым элементам отсутствуют, однако повышенные значения Zc указывают на относительное обогащение почв по сравнению с фоном и потенциальное накопление загрязнителей при длительной эксплуатации полигонов. Интегральный показатель суммарного загрязнения Zc показал высокую информативность для диагностики диффузного загрязнения, позволяя выявлять как полигоны с экстремальной техногенной нагрузкой, так и объекты с умеренным, но устойчивым загрязнением. Использование контрольной пробы в качестве фоновой уровня обеспечило сопоставимость результатов и позволило выявить латентные формы загрязнения, при которых суммарная геохимическая трансформация почв ещё не сопровождается превышением ПДК, но может реализоваться при изменении гидрологических или кислотно-щелочных условий.

В таблице 5 представлены средние значения индекса геоаккумуляции (I_{geo_mean}), а также значения I_{geo} для отдельных приоритетных элементов (Cd, Pb, Hg, As) в почвах действующих полигонов ТБО.

Таблица 5 – Диапазоны средних значений I_{geo} и по отдельным элементам

№	Полигон	I_{geo_mean}	I_{geo_Cd}	I_{geo_Pb}	I_{geo_Hg}	I_{geo_As}
1.	Кокшетау	2,16	6,74	2,42	2,08	1,07
2.	Есиль	1,55	5,97	1,95	2,0	0,39
3.	Щучинск	1,54	6,13	2,18	0,15	0,15
4.	Зеренда	1,48	6,44	1,81	0,42	0,1
5.	Степногорск	1,48	5,06	2,45	2,08	0,68
6.	Макинск	1,29	6,14	1,83	0,64	0,57
7.	Атбасар	1,18	4,84	0,95	0,46	0,48
8.	Державинск	1,11	5,82	2,24	0,58	0,09
9.	Бурабай	1,09	5,32	2,15	2,17	0,61
10.	Акмол	0,93	4,94	1,11	0,83	0,82
11.	Степняк	0,9	6,0	1,49	0,58	1,64
12.	Аршалы	0,68	5,62	0,57	2,17	0,39
13.	Акколь	0,66	6,09	0,26	2,17	0,03
14.	Егиндыколь	0,65	5,77	0,13	1,49	0,5
15.	Ерейментау	0,53	6,2	1,16	3,91	0,4

Значения I_{geo_mean} варьируют от 0,53 до 2,16, отражая различную степень техногенного преобразования почв. Максимальное значение зафиксировано на полигоне Кокшетау (2,16), что соответствует умеренно-сильно загрязнённым почвам, тогда как для большинства объектов I_{geo_mean} находится в диапазоне 0,65–1,55, характерном для незагрязнённых–умеренно загрязнённых условий. Минимальные значения отмечены на полигоне Ерейментау, близком к фоновому состоянию. Наибольшие значения I_{geo} выявлены для кадмия: I_{geo_Cd} превышает 4,8 на всех полигонах и достигает 6,74, что указывает на экстремальное техногенное обогащение и ведущую роль Cd как элемента I класса опасности. Для Pb значения I_{geo_Pb} варьируют от низких до умеренно высоких (до 2,45), отражая очаговый характер загрязнения, тогда как I_{geo_Hg} характеризуется высокой пространственной изменчивостью (0,15–3,91) с локальными зонами накопления. Для As значения I_{geo_As} в основном не превышают 1,0, за исключением полигона Степняк. В целом индекс I_{geo} подтвердил элемент-специфический характер загрязнения почв, при котором кадмий формирует устойчивый техногенный фон, а ртуть и свинец – локальные очаги накопления, что согласуется с распределением суммарной нагрузки по индексу Zс. Пространственная неоднородность химического состава фильтрата (табл. 6) дополнительно подчёркивает роль морфологии полигонов и гидрогеологических условий в формировании миграционных процессов.

Таблица 6 – Диапазоны концентраций показателей в фильтрате полигонов ТБО

Показатель, мг/л	Min	Max	Среднее
ХПК	10,0	381,0	88,1
БПК ₅	1,0	15,7	10,6
Al,	0,02	0,32	0,19
Cd,	0,01	0,07	0,04
Ca,	92,0	397,0	203,5
Co,	0,01	0,58	0,26
Mg,	11,8	59,0	29,8
Pb,	0,11	0,46	0,29
Hg,	0,01	0,70	0,18
As,	0,02	0,94	0,24
K,	11,3	337,0	71,4
Cr,	0,002	0,086	0,042
Zn,	0,02	0,09	0,04
Cu,	0,004	0,092	0,05
Mo,	0,001	0,072	0,026
Sn,	0,02	0,15	0,05

Значения ХПК в фильтрате варьировали от 10,0 до 381,0 мг/л (среднее 88,1 мг/л), с повышенными уровнями на полигонах Бурабай, Степногорск и Атбасар, что указывает на высокую органическую

нагрузку. Диапазон БПК₅ (1,0–15,7 мг/л; среднее 10,6 мг/л) и соотношение ХПК/БПК₅ характерны для полигонов на стадии стабилизации. Содержание Ca, Mg и K отличалось широкими интервалами, отражая активное выщелачивание минеральных компонентов и формирование высокоминерализованного фильтрата, способного изменять ионный состав почв. Тяжёлые металлы демонстрировали выраженную вариабельность, особенно As, Pb и Hg, что указывает на их высокую миграционную активность; Cd характеризуется устойчивым поступлением в водную фазу, тогда как Cr, Zn и Cu проявляют умеренную, а Sn и Mo – низкую мобильность. В целом фильтрат отличается высокой химической неоднородностью и выступает важным источником вторичного загрязнения почв, что подтверждается выявленными корреляционными связями между его составом и содержанием элементов в почвах ($n = 16$) (табл.7).

Таблица 7 – Корреляционный анализ между концентрациями элементов «почва – фильтрат»

Элемент	r	Связь	Интерпретация
Cd	0,81	сильная	Активная миграция из фильтрата
Pb	0,69	средняя–сильная	Фильтрат – основной источник
As	0,73	сильная	Высокая подвижность
Zn	0,58	умеренная	Частичное закрепление в почве
Cu	0,61	умеренная	Комплексообразование с органическим веществом
Cr	0,46	умеренная	Ограниченная миграция
Hg	0,64	умеренная	Связь с органикой фильтрата
Co	0,39	слабая	Литогенный контроль
Mo	0,52	умеренная	Растворимая форма
Sn	0,33	слабая	Низкая мобильность
Ca	0,71	сильная	Минерализация фильтрата
Mg	0,68	средняя–сильная	Ионный обмен
K	0,75	сильная	Выщелачивание и миграция
Использован коэффициент Пирсона (r), $n = 16$.			

Наиболее высокие корреляции выявлены для Cd ($r = 0,81$), As ($r = 0,73$) и K ($r = 0,75$), что указывает на их высокую подвижность и ведущую роль фильтрата в формировании почвенного загрязнения; особенно значим кадмий как элемент повышенного экологического риска. Средне-сильные связи для Ca ($r = 0,71$) и Mg ($r = 0,68$) отражают процессы минерализации и ионного обмена, формирующие общий геохимический фон почв. Для Pb установлена средне-сильная корреляция ($r = 0,69$), свидетельствующая о сочетании техногенного поступления и последующей фиксации в почвенной матрице. Умеренные корреляции для Zn, Cu, Cr и Mo указывают на ограниченную миграцию и частичное закрепление этих элементов, тогда как слабые связи для Co и Sn отражают преимущественно литогенный контроль. В целом результаты подтверждают ключевую роль фильтрата как источника вторичного загрязнения, при котором элементы Cd, As, Pb, K, Ca и Mg формируют основную группу экологического риска для агроценозов.

Корреляционный анализ между концентрациями элементов в композитных пробах почв и фильтрата ($n = 16$), представленный в виде тепловой карты, выявил выраженную неоднородность миграционных связей в системе «фильтрат–почва» (рис.3.).

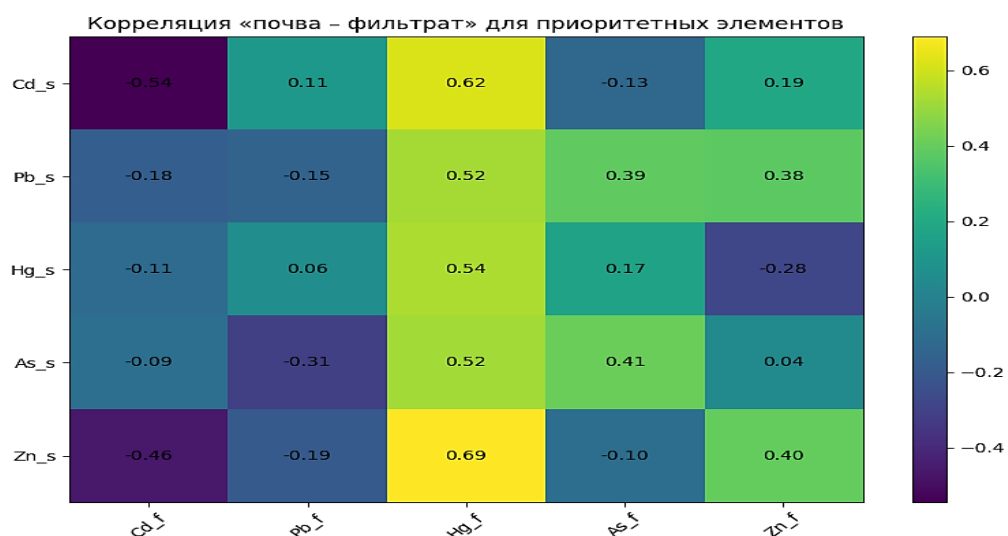


Рисунок 3 – Тепловая карта корреляции «почва– фильтрат» для приоритетных элементов

Наиболее высокие положительные корреляции установлены для Cd, As и K, что указывает на их высокую подвижность и ведущую роль фильтрата в формировании почвенного загрязнения. Значимые корреляции с участием Hg в фильтрате свидетельствуют о его роли как индикатора подвижной органо-металлической фазы и фактора, усиливающего перенос других токсичных элементов.

Сильные и средне-сильные связи для Ca и Mg отражают процессы минерализации и ионного обмена, формирующие общий геохимический фон и влияющие на миграцию тяжёлых металлов. Средняя корреляция для Pb указывает на сочетание техногенного поступления и последующей фиксации в почвенной матрице, тогда как умеренные и слабые корреляции для Zn, Cu, Cr, Mo, Co и Sn свидетельствуют о частичном геохимическом закреплении и литогенном контроле их содержания.

В целом, результаты подтверждают ключевую роль фильтрата полигонов ТБО как источника вторичного загрязнения почв. Совместное применение интегральных индексов Zc и Igeo с анализом химического состава фильтрата и корреляционных связей позволяет выявлять как явные, так и латентные формы техногенного воздействия. С позиций экологического риска для агроценозов наибольшую опасность представляет хроническое накопление кадмия и локальное обогащение ртути, потенциально влияющие на продуктивность сельскохозяйственных культур и качество растительной продукции.

Выводы

1. Установлено, что в зоне влияния действующих полигонов твёрдых бытовых отходов формируется хроническое диффузное загрязнение почв, которое во многих случаях носит латентный характер и не сопровождается систематическими превышениями ПДК, но проявляется в устойчивом техногенном обогащении отдельных химических элементов.

2. Анализ состава фильтрата показал, что он представляет собой высокоминерализованную многокомпонентную среду с преобладанием трудноразлагаемых органических соединений, что создаёт условия для активной миграции растворённых неорганических компонентов и формирования вторичного загрязнения почвенного покрова.

3. Интегральный показатель суммарного загрязнения Zc продемонстрировал высокую информативность при оценке диффузного загрязнения почв, позволяя выявлять как полигоны с экстремальной техногенной нагрузкой, так и объекты с умеренным, но устойчивым уровнем антропогенного воздействия.

4. Индекс геоаккумуляции Igeo позволил выявить элемент-специфический характер загрязнения, при этом показано, что кадмий формирует устойчивый техногенный фон во всех исследованных почвах, тогда как ртуть характеризуется очаговым накоплением, связанным с неоднородностью состава отходов.

5. Корреляционный анализ подтвердил ключевую роль фильтрата в процессах миграции загрязняющих веществ, наиболее выраженную для Cd, As, Pb и K, для которых установлены высокие и средние коэффициенты корреляции между концентрациями в фильтрате и почвах.

6. Показано, что элементы с высокой токсичностью и миграционной активностью (Cd, Pb и As) формируют основную группу экологического риска для агроценозов, поскольку способны накапливаться в почвах и вовлекаться в пищевые цепи при длительном использовании прилегающих земель.

7. Комплексное применение интегральных индексов Zc и Igeo, анализа состава фильтрата и корреляционных зависимостей обеспечивает риск-ориентированную оценку воздействия полигонов ТБО, которая может быть использована для экологического мониторинга, зонирования территорий и обоснования природоохранных мероприятий.

Благодарность. Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Грантовое финансирование научных и (или) научно-технических проектов на 2025-2027 годы со сроком реализации 36 месяцев. Тема проекта: «Разработка риск-ориентированной модели устойчивого управления полигонами твердых бытовых отходов Акмолинской области». Проект ИРН: AP26196213.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Агаркова С. В. Проблемы утилизации твердых бытовых отходов [Текст] // Вестник науки. – 2020. – № 3 (24). – С. 45–49. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-tverdyh-bytovykh-othodov> (дата обращения: 30.01.2026).
2. Бабурина Т. А. Экологическая оценка негативного влияния сточных вод полигона ТБО (фильтрата) на окружающую среду [Текст] // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 6 (7). – С. 62–66. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-otsenka-negativnogo-vliyaniya-stochnyh-vod-poligona-tbo-filtrata-na-okruzhayushchuyu-sredu> (дата обращения: 30.01.2026).
3. Kurmanbayeva A., Bayazitova Z., Talal A., Kakabayev A., Zhaparova S. Waste accumulation and geocological assessment of the territories around the landfills in Kokshetau [Text] // International Journal of GEOMATE. – 2022. – Vol. 23, Issue 96. – pp. 179–185. DOI: <https://doi.org/10.21660/2022.96.j2384>
4. Alloway B. J. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability [Text]. – 3rd ed. – Dordrecht: Springer, 2013. – 614 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>.
5. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants [Text]. – 4th ed. – Boca Raton: CRC Press, 2011. – 505 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b10158>.

6. Beinabaj S. et al., "Assessment of heavy metal contamination in soil, leachate and plants around a municipal solid waste landfill," [Text] *Heliyon*, vol. 9, no. 2, p. 13224, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13224.
7. Hussein M., Yoneda K., Zaki Z. M., Othman N. A., and Amir A., "Leachate migration from unsanitary landfills and its impact on surrounding soil and groundwater quality," [Text] *Chemosphere*, vol. 262, p. 128350, 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128350.
8. Essien J. P., Inam E. D., Ikpe D. I., and Udofia G. E., "Heavy metal contamination and ecological risk assessment of soils around a municipal solid waste dumpsite," [Text] *PLOS ONE*, vol. 17, no. 2, p. e0263279, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0263279.
9. Rouhani A. and Hejman M., "Soil pollution around municipal solid waste landfills: A review," [Text] *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2024, doi: 10.1007/s13762-024-05728-z.
10. Kenzhebaev A. Z., Baizhumanov A. S., and Issanova G. N., "Assessment of heavy metal contamination and ecological risk of soils in steppe ecosystems of Akmola region, Kazakhstan," [Text] *Sustainability*, vol. 17, no. 14, Art. no. 6576, 2025, doi: 10.3390/su17146576.
11. Ali H., Khan E., and Ilahi I., "Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation," [Text] *Journal of Chemistry*, vol. 2019, Art. no. 6730305, 2019, doi: 10.1155/2019/6730305.
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Soil Pollution: A Hidden Reality*. – [Online]. – Rome: FAO, 2018. – 142 p. URL: <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf>.
13. Sharma A. K., Tiwari S., and Singh R. K., "Impact of landfill leachate on soil properties and plant metal uptake: Implications for agroecosystem sustainability," [Text] *Heliyon*, vol. 9, no. 2, Art. no. e13324, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13324.
14. Экологический кодекс Республики Казахстан. Закон № 400-VI ЗРК от 2 января 2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (дата обращения: январь 2026 г.).
15. Гигиенические нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595> (дата обращения: февраль 2026 г.).
16. Mohammadi A., Salehi M., Ghanavati H. Assessment of heavy metal contamination of landfill soil using geoaccumulation index and contamination factor. [Text] // *Biological and Biomedical Reports*. – 2020. – Vol. 10, No. 2. – pp. 87–96.
17. Islam A. M., Ahmed M., Raknuzzaman M. Risk assessment of heavy metals in soils using pollution indices [Text] // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11, No. 2. – Art. no. 548.
18. FAO, WHO. *Evaluation of Certain Contaminants in Food: Heavy Metals and Soil-Plant Transfer*. [Online]. – Rome: Codex Alimentarius Commission, 2021. – 120 p. URL: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>.

REFERENCES:

1. Agarkova S.V. Problemy' utilizatsii tverdy'h by'tovy'h otkhodov [Problems of municipal solid waste disposal]. *Vestnik nauki*, 2020, no. 3 (24), pp. 45-49. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-tverdyh-bytovyh-otkhodov> (accessed 30 January 2026). (In Russian)
2. Baburina T.A. Ekologicheskaya ocenka negativnogo vliyaniya stochny'h vod poligona TBO (filtrata) na okruzhayushchuyu sredu [Environmental assessment of the negative impact of landfill leachate (MSW landfill wastewater) on the environment]. *Voprosy' nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 6 (7), pp. 62-66. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-otsenka-negativnogo-vliyaniya-stochnyh-vod-poligona-tbo-filtrata-na-okruzhayushchuyu-sредu> (accessed 30 January 2026). (In Russian)
3. Kurmanbaeva A., Bayazitova Z., Talal A., Kakabaev A., Zhaparova S. Waste accumulation and geoecological assessment of the territories around the landfills in Kokshetau. *International Journal of GEOMATE*, 2022, vol. 23, iss. 96, pp. 179-185. <https://doi.org/10.21660/2022.96.j2384>.
4. Alloway B.J. *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Dordrecht, Springer, 2013. 614 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>.
5. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton, CRC Press, 2011. 505 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>.
6. Beinabaj S. et al. Assessment of heavy metal contamination in soil, leachate and plants around a municipal solid waste landfill. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 2, art. e13224. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13224>.
7. Hussein M., Yoneda K., Zaki Z.M., Othman N.A., Amir A. Leachate migration from unsanitary landfills and its impact on surrounding soil and groundwater quality. *Chemosphere*, 2021, vol. 262, art. 128350. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128350>.
8. Essien J.P., Inam E.D., Ikpe D.I., Udofia G.E. Heavy metal contamination and ecological risk assessment of soils around a municipal solid waste dumpsite. *PLOS ONE*, 2022, vol. 17, no. 2, art. e0263279. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263279>.

9. Rouhani A., Hejzman M. Soil pollution around municipal solid waste landfills: A review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05728-z>.
10. Kenzhebaev A.Z., Baizhumanov A.S., Issanova G.N. Assessment of heavy metal contamination and ecological risk of soils in steppe ecosystems of Akmola region, Kazakhstan. *Sustainability*, 2025, vol. 17, no. 14, art. 6576. <https://doi.org/10.3390/su17146576>.
11. Ali H., Khan E., Ilahi I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, vol. 2019, art. 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>.
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Soil Pollution: A Hidden Reality*. Rome, FAO, 2018. 142 p. Available at: <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf> (accessed 30 January 2026).
13. Sharma A.K., Tiwari S., Singh R.K. Impact of landfill leachate on soil properties and plant metal uptake: Implications for agroecosystem sustainability. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 2, art. e13324. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13324>.
14. E'kologicheskij kodeks Respubliki Kazahstan. Zakon No. 400-VI ZRK ot 2 yanvarya 2021 g. [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan. Law No. 400-VI dated January 2, 2021]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400> (accessed January 2026). (In Russian)
15. Gigienicheskie normativy' predel'no dopustimy'h kontsentracij (PDK) himicheskix veshhestv v pochve [Hygienic standards for maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in soil]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022595> (accessed February 2026). (In Russian)
16. Mohammadi A., Salehi M., Ghanavati H. Assessment of heavy metal contamination of landfill soil using geoaccumulation index and contamination factor. *Biological and Biomedical Reports*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 87-96.
17. Islam A.M., Ahmed M., Raknuzzaman M. Risk assessment of heavy metals in soils using pollution indices. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, no. 2, art. 548.
18. FAO, WHO. *Evaluation of Certain Contaminants in Food: Heavy Metals and Soil-Plant Transfer*. Rome, Codex Alimentarius Commission, 2021. 120 p. Available at: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius> (accessed 30 January 2026).

Сведения об авторах:

Курманбаева Айгуль Сапарбековна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры горного дела, строительства и экологии, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Акмолинская область, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87019587235, e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-6133-3226>.

Баязитова Зульфия Ерзатовна* – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры горного дела, строительства и экологии, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Акмолинская область, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87022245222, e-mail: z_bayazitova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1106-0573>.

Сафронова Наталья Михайловна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры биологии и методики преподавания, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Акмолинская область, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87013161047, e-mail: natalyasafronova@shokan.edu.kz; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5176-4404>.

Жапарова Саягуль Бекетовна – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры горного дела, строительства и экологии, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Акмолинская область, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87013737639, e-mail: zhaparova77@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-5528>.

Құрманбаева Айгүл Сапарбекқызы – биология ғылымдарының кандидаты, тау-кен ісі, құрылыс және экология кафедрасының профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Ақмола облысы, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 8701 9587235, e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-3226>.

Баязитова Зульфия Ерзатовна* – биология ғылымдарының кандидаты, тау-кен ісі, құрылыс және экология кафедрасының профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Ақмола облысы, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 8702 2245222, e-mail: z_bayazitova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1106-0573>.

Сафронова Наталья Михайловна – биология ғылымдарының кандидаты, биология және оқыту әдістемесі кафедрасының профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Ақмола облысы, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 87013161047, e-mail: natalyasafronova@shokan.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5176-4404>.

Жапарова Саягуль Бекетқызы – техника ғылымдарының кандидаты, тау-кен ісі, құрылыс және экология кафедрасының профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Ақмола облысы, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 87013737639, e-mail: zhaparova77@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-5528>.

Kurmanbayeva Aigul Saparbekovna – Candidate of Biological Sciences, Professor, Department of mining, construction and ecology, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Akmola region, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87019587235, e-mail: akurmanbayeva@shokan.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6133-3226>.

Bayazitova Zulfiya Yertzatovna * – Candidate of Biological Sciences, Professor, Department of mining, construction and ecology, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Akmola region, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87022245222, e-mail: z_bayazitova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1106-0573>.

Safronova Natalya Mikhailovna – Candidate of Biological Sciences, Professor, Department of biology and teaching methods, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Akmola region, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87013161047, e-mail: natalyasafronova@shokan.edu.kz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5176-4404>.

Zhaparova Sayagul Beketovna – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of mining, construction and ecology, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Akmola region, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87013737639, e-mail: zhaparova77@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5346-5528>.

XҒТАР: 68.35.41

ӨОЖ 633.11:631.8:631.559(574.24)(045)

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621137>

АҚМОЛА ОБЛЫСЫ ЖАҒДАЙЫНДА БИОПРЕПАРАТТАРДЫҢ ЖАЗДЫҚ БИДАЙДЫҢ ӨНІМДІЛІГІ МЕН САПАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІ

Кульжабаев Е.М.* – 8D08102 «Органикалық егіншілік» білім беру бағдарламасының 2 курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Курбанбаев А.И. – Танаптық дақылдар агротехникасы және өсімдік шаруашылығын әртарап-тандыру зертханасының меңгерушісі, «А.И.Бараев атындағы АШҒӨО» ЖШС, Шортанды ауылы, Қазақстан Республикасы.

Кульжанова С.М. – з.ғ.к., аға менежер, Педагогикалық шеберлік орталығы, «Назарбаев Зияткерлік мектептері» дербес білім беру ұйымы, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Мұратұлы Оразхан – 6M08101 «Агротехнология» білім беру бағдарламасының 2 курс магистранты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Ақмола облысы жағдайында биологиялық препараттардың жаздық жұмсақ бидайдың өнімділігі мен дән сапасының негізгі көрсеткіштеріне әсері зерттелді. Зерттеу барысында бақылау және биопрепараттар қолданылған нұсқаларда өнімділік, ақуыз мөлшері, шикі желімше, шикі желімшенің ИДК бірлігі, сондай-ақ 1000 дән массасы, натуралдық масса және дәннің шынылығы анықталды. Нәтижелер бойынша өнімділік 17,4–23,4 ц/га аралығында өзгеріп, ең жоғары көрсеткіш Мусорhiza нұсқасында байқалып (23,4 ц/га), ақуыз мөлшері 12,5–15,1% аралығында өзгерді. Шикі желімше мөлшері 20,6–29,8% аралығында болды және дән желімшесінің көрсеткіші бойынша I классқа бақылау (28,5%), COLD (29,8%), BRONZE (29,6%) және Мусорhiza (28,4%) нұсқалары жатқызылды. Шикі желімшенің ИДК мәні 68,6–76,8 бірлік аралығында болып, ең жоғары көрсеткіш Organit N+P+S+V нұсқасында байқалды -76,8. Дәннің сапа көрсеткіштері бойынша 1000 дән массасы 33,4–34,7 г, натуралдық масса 653,3–694,0 г/л, шынылық 46,0–55,5% қалыптасты. Жалпы, биопрепараттарды қолдану өнімділік пен дән сапасының жекелеген көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Сондай-ақ зерттеу нәтижелері көрсеткендей Мусорhiza нұсқасы өнімділік бойынша, ал COLD және BRONZE ақуыз көрсеткіштері бойынша перспективті нұсқалар ретінде бағаланды.

Түйінді сөздер: жаздық жұмсақ бидай, биологиялық препараттар, өнімділік, ақуыз, шикі дән желімшесі, натуралдық масса.

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ АҚМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Кульжабаев Е.М.* – докторант 2 курса образовательной программы 8D08102 – Органическое земледелие, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Курбанбаев А.И. – PhD, Заведующий лабораторией агротехники полевых культур и диверсификации растениеводства, ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Шортанды, Республика Казахстан.

Кульжанова С.М. – к.г.н., старший менеджер, Центр педагогического мастерства АОО «Назарбаев Интеллектуальные школы», г. Астана, Республика Казахстан.

Мұратұлы О. – магистрант 2 курса образовательной программы 6M08101 – Агротехнология, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

В статье изучено влияние биологических препаратов на основные показатели урожайности и качества зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Акмолинской области. В ходе исследования были определены урожайность, содержание белка, сырая ткань, единица ИДК сырой ткани, а также масса 1000 зерен, натуральная масса и истинность зерна в вариантах, в которых использовались контрольные и биопрепараты. По результатам урожайность варьировалась в пределах 17,4–23,4 ц/га, самый высокий показатель наблюдался в варианте Mycorhiza (23,4 ц/га), содержание белка варьировалось в пределах 12,5–15,1%. Содержание сырых клеев колебалось в пределах 20,6–29,8%; по показателю клейковины зерна к классу I относили контрольные (28,5%), COLD (29,8%), BRONZE (29,6%) и Mycorhiza (28,4%) варианты. Значение ИДК находилось в диапазоне 68,6–76,8 ед. Самый высокий показатель наблюдался в варианте Organit N+P+S+B-76,8. По качественным показателям зерна масса 1000 зерен составила 33,4–34,7 г, натуральная масса – 653,3–694,0 г/л, доля стекла – 46,0–55,5%. В целом, было доказано, что использование биопрепаратов может улучшить отдельные показатели урожайности и качества зерна, результаты исследования показали, что вариант Mycorhiza оценивался как перспективный вариант с точки зрения урожайности, а COLD и BRONZE оценивались как многообещающие варианты с точки зрения показателей белка.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, биологические препараты, урожайность, белок, сырая клейковина, натура зерна.

EFFECT OF BIOPREPARATIONS ON THE YIELD AND QUALITY PARAMETERS OF SPRING WHEAT UNDER THE CONDITIONS OF AKMOLA REGION

Kulzhabayev Ye.M.* – 2nd-year PhD student, “8D08102 – Organic Farming” educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Kurbanbayev A.I. – PhD, Head of the Laboratory of Field Crop Agrotechnology and Crop Diversification, A.I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Shortandy, Republic of Kazakhstan.

Kulzhanova S.M. – Candidate of Geographical Sciences, Senior Manager, Center of Pedagogical Excellence, Autonomous Educational Organization “Nazarbayev Intellectual Schools”, Astana, Republic of Kazakhstan.

Muratuly O. – 2nd-year Master’s student, “6M08101 – Agrotechnology” educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

The article investigates the effect of biological preparations on the yield and key grain quality parameters of spring bread wheat under the conditions of Akmola region. During the study, yield, protein content, wet gluten content, wet gluten deformation index (GDI), as well as thousand-kernel weight, natural weight, grain quality were determined for the control and the biopreparation-treated variants. The results showed that yield ranged from 17.4 to 23.4 c/ha, with the highest value recorded in the Mycorhiza treatment (23.4 c/ha). Protein content varied between 12.5 and 15.1%. Wet gluten content was 20.6–29.8%; according to gluten parameters, the control (28.5%), COLD (29.8%), BRONZE (29.6%), and Mycorhiza (28.4%) treatments were classified as Grade I. The GDI value ranged from 68.6 to 76.8 units, with the maximum observed in the Organit N+P+S+B treatment (76.8). In terms of physico-technological traits, thousand-kernel weight was 33.4–34.7 g, test weight was 653.3–694.0 g/L, and vitreousness was 46.0–55.5%. Overall, the use of biopreparations demonstrated the potential to improve certain yield and grain quality indicators; under the experimental conditions, Mycorhiza was considered the most promising treatment in terms of yield, whereas COLD and BRONZE were promising with respect to the protein parameters.

Keywords: spring soft wheat, biological preparations, yield, protein, wet gluten, test weight.

Кіріспе. Жаздық бидай – әлемдегі және Қазақстандағы жетекші мәдени дақылдардың бірі. Халықаралық астық кеңесінің 2025 жылдың қарашада жасалған шолуына шолуына сәйкес, жалпы астық өнімі 24,4 млн. т, оның ішінде бидайдың көлемі – 19,1 млн. т болды. Ал әлемдік нарықта сатылатын астықтың негізгі үлесі Солтүстік Қазақстанда өсірілген жаздық бидай дәні болып табылады, оның осы аймақтағы егіс алқаптары 85% -ға жетеді, бұл көрсеткіш шамамен 10 млн. га құрайды және орташа өнімділігі соңғы онжылда шамамен 12 ц/га құрап отыр [1, 2].

Жаздық бидайдың құндылығы үнемі өсіп отырады, себебі ол қоректік және экономикалық тиімді азық-түлік дақылы. Алайда бидай өндірісінде өнімділікті арттырумен қатар астықтың технологиялық сапасын жақсарту мәселесі әлі де өзекті. Қазіргі уақытта осы бағыттағы зерттеу кеңінен жүргізілуде. Биологиялық препараттарды қолдану қазіргі өсімдік шаруашылығында басымды бағыттардың бірі.

Қазақстанда ауыл шаруашылығының қазіргі заманғы қарқынды дамуы жағдайында антропогендік жүктеме мен егіншілікті химияландыру агрофитоценоздардың экологиялық функцияларына айтарлық-

тай теріс әсерін тигізуде. Минералдық тыңайтқыштарды және өсімдіктерді химиялық қорғау құралдарын ұзақ уақыт қолдану қоршаған ортаның ластануына, фитофагтар мен фитопатогендердің тұрақты формаларының қалыптасуына, агроценоздардағы биологиялық тепе-теңдіктің бұзылуына және жалпы экологиялық жағдайдың нашарлауына алып келеді.

ФАО деректеріне сәйкес, топырақтың тозуы (топырақ токсикозы) құбылыстары, соның ішінде төзімді гербицид қалдықтарымен байланысты жағдайлар, әлем бойынша шамамен 1250 млн га ауыл шаруашылығы жерін қамтиды және өсімдік шаруашылығы өнімінің елеулі шығындарының (25%-ға дейін) себептерінің бірі ретінде қарастырылады. «Қазақстан-2050» стратегиялық даму бағыты аясында агроөнеркәсіп кешенінің басым міндеттерінің бірі – экологиялық қауіпсіз әрі бәсекеге қабілетті өндірісті дамыту. Бұл өз кезегінде өнімділік пен өнім сапасын арттыруды экологиялық тәуекелдерді төмендетумен ұштастыратын технологияларды енгізуді талап етеді [3, 28 б.].

Өсімдік шаруашылығындағы перспективалы бағыттардың бірі – өсімдіктерді химиялық қорғау құралдарын биологиялық препараттармен ішінара немесе толық алмастыру. Еуропа, АҚШ, Қытай, Жапония сияқты көптеген елдерде биопрепараттар минералдық тыңайтқыштар мен пестицидтерге балама немесе қосымша ретінде кеңінен қолданылады. Алайда Қазақстанда биологиялық препараттарды пайдалану, биоагенттер мен биопрепараттарды ауыл шаруашылығы дақылдарын өңдеуге субсидиялау секілді мемлекеттік қолдау шараларының болуына қарамастан, әлі де шектеулі деңгейде қалып отыр. Олардың кең таралуына кедергі келтіретін негізгі факторлар ретінде биопрепараттардың агрономиялық тиімділігін жеткілікті бағаламау, химиялық құралдардың «жылдам әсеріне» бағдарлану, сондай-ақ препараттарды өңірдің топырақ-климаттық жағдайларын ескере отырып таңдаудың қажеттілігі аталады [4, 74 б.; 5 1 б.].

Кез келген ауыл шаруашылығы дақылын тиімді өсіру оның биологиялық әлеуетіне және сол әлеуеттің іске асырылу мүмкіндігіне байланысты. Дақыл немесе сорт үшін қолайлы жағдай жасау мақсатында жаңа немесе жетілдірілген агротехнологиялар қолданылады не болмаса қолданыстағы агротехнологияларға жақсартылған элементтер енгізіледі. Қазіргі уақытта ауыл шаруашылығы тәжірибесінде биологиялық препараттар әзірленіп, белсенді түрде қолданылуда. Мұндай препараттар өсімдіктің өсуі мен дамуын жақсартады және қоршаған ортаға теріс әсер етпейді [6, 544 б.; 7, 27 б.].

Қазіргі өндірістік технологияларда қолданылатын қазба органикалық шикізат қорларының қысқаруы оны қайта өндіру қажеттілігін туындатады. Биологиялық препараттар өндіру үшін шикізат ретінде ауыл шаруашылығы өндірісінің қалдықтары, дәлірек айтқанда олардың қайта өңделген биомассасы үлкен қызығушылық тудырады. Биомассаның құрамы мен құрылысының бірегейлігі көптеген ғалымдар тарапынан атап өтіледі. [8, 248 б.; 9, 202 б.].

Зерттеудің өзектілігі Ақмола облысындағы, негізгі астық дақылы – жаздық жұмсақ бидайды өсіруде биологиялық препараттарды қолдану жөніндегі деректердің жеткіліксіздігімен анықталады. Осыған байланысты жұмыстың **мақсаты** – Ақмола облысы жағдайында биологиялық препараттардың жаздық жұмсақ бидайдың өнімділігіне және дән сапасының технологиялық көрсеткіштеріне әсерін бағалау болып табылады.

Зерттеу міндеттері:

- биологиялық препараттардың жаздық жұмсақ бидай өнімділігіне әсерін анықтау;
- биологиялық препараттардың дәннің сапалық көрсеткіштеріне әсерін зерттеу;
- биологиялық препараттардың қолдану тиімділігін салыстыру;

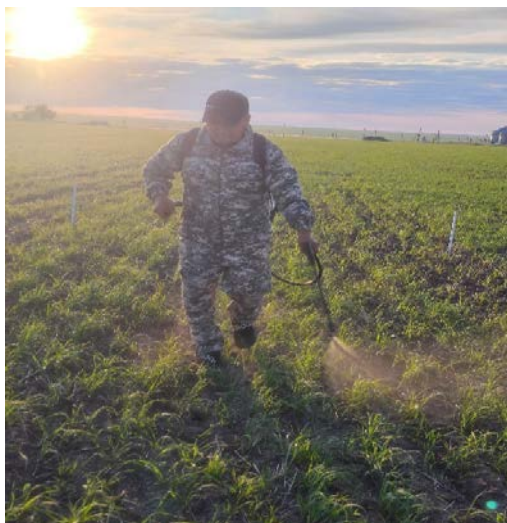
Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу жұмысы 2025 жылы Ақмола облысының, Шортанды ауданында (51°37'41.52" с.е.; 71°02'15.24" ш.б.) «А.И.Бараев атындағы АШҒӨО ЖШС» стационарлы танабында жүргізілді. Зерттеу нысаны ретінде аймақта себу рұқсат етілген жаздық жұмсақ бидайдың Таймас сорты зерттелінді.

Алғы дақыл – сүрі танабы. Себу жұмыстары 30 мамырда жүргізілді. Себу мөлшері – 1 гектарға 3,0 млн. өңгіш тұқым. Тәжірибе 3 қайталымда жүргізілді, мөлдектер жүйелі түрде орналастырылды. Биологиялық препараттармен тұқымдар себу алдында өңделіп және дақылдың түптену кезеңінде үстеп қоректендірілді (1-кесте, 1-сурет,).

1 кесте – Тәжірибе нұсқасы

№	Нұсқа	Өңдеу кезеңдері және өңдеу мөлшері	
		Тұқымды өңдеу	Түптену
1	Бақылау	–	–
2	COLD	SeedSpor 4л/т	Hanse Amino 2л/га
3	SILVER	SeedSpor 4л/т	Hanse Amino 1,5л/га
4	BRONZE	SeedSpor 4л/т	Hanse Amino 1л/га
5	Organit N+P+S+B	1л+1л+1л/т+4мл/т	1л+1л+1л/т+4мл/га
6	Organit P+S+B	1л+1л/т+4мл/т	1л+1л/т+4мл/га
7	Organit N+S+B	1л+1л/т+4мл/т	1л+1л/т+4мл/га
8	Mycorrhiza	500 гр/т	–
9	Agro-Mix	Agro-Mix 200 мл/т	Agro-Mix 500 мл/га
10	Trichadermin –KZ	Agro-Mix 200 мл/т	–

Барлық есептеулер мен бақылаулар дәнді дақылдарға арналған әдістемелік ұсынымдарға сәйкес жүргізілді [10, 329 б.;11, 33 б.;12,13,14]. Жаздық бидай дәнінің сапалық көрсеткіштері инфрақызыл анализатор «ИнфраЛЮМ ФТ-12» экспресс-құрылғысы арқылы анықталды. Дақылдың өсіп-даму кезінде гидротермиялық коэффициент (ГТК) Г. Т. Селянинов әдісі бойынша есептелді [15].



1-сурет – Жаздық жұмсақ бидайдың түптену кезеңінде биопрепараттармен өңдеу барысы

Тәжірибелік учаскенің топырағы – оңтүстік қара топырақ. Жалпы қара-шірінді мөлшері 2,17-2,46%, азот мөлшері 4,4-8,7 мг/кг, фосфор мөлшері 12,6-9,8 құрайды. Топырақ ерітіндісінің реакциясы сілтілі (рН 8,55).

Зерттеу жүргізілген 2025 жылы жаздық жұмсақ бидайдың өсіп-даму кезеңінде метеорологиялық жағдай әр түрлі қалыптасты. Зерттеу жылында ақылдың вегетациялық кезеңінде ауа температурасы көпжылдық орташа көрсеткіштерден жоғары болды.

Дақылдың баспақы өсу кезеңі – егін көгі өтетін мамыр айында орташа температура 17,5°C болып, ол орташа көпжылдықтан +5,0°C жоғары болды, алайда аталған кезеңде жауын-шашын 2,5 мм түсіп, орташа көпжылдық көрсеткіштен –29,9 мм аз түсті. Соған қарамастан, егін көгінің біркелкі қалыптасуы топырақ қабатында жинақталған көктемгі ылғал қоры есебінен қамтамасыз етілді (2 кесте).

2 кесте – Жаздық жұмсақ бидайдың өсіп-даму кезеңінде қалыптасқан метеорологиялық көрсеткіштер, 2025 ж.

Айлар	Ауа температурасы, °C	Орташа көпжылдық	Ауытқу, ±	Жауын-шашын, мм	Орташа көпжылдық	Ауытқу, ±
Мамыр	17,5	12,5	+5,0	2,5	32,4	-29,9
Маусым	20,5	18,3	+2,3	1,1	39,5	-38,4
Шілде	20,7	19,9	+0,8	1,2	57,0	-55,8
Тамыз	18,2	18,0	+0,1	35,2	41,0	-5,8
Қыркүйек	12,4	12,0	+0,43	9,6	38,0	-28,4

Жаз айларында ауа температурасы көпжылдық шама деңгейінде болды, маусым және шілде айларында ауаның орташа температурасының мәні 20,5°C-тан 20,7°C-қа жоғарылады, тамызда 18,2°C (+0,1°C), болды. Бірақ ылғалмен қамтамасыз етілу деңгейі орташа көпжылдық мәндермен салыстырғанда төмен болды. Маусым–шілде айларында жауын-шашын мөлшері өте аз түсіп (1,1 мм; 1,2 мм), орташа көпжылдық мөлшерінен тиісінше –38,4; 55,8 мм кем түсті. Ал, тамыз айында жауын-шашынның мөлшері 35,2 мм дейін артқанымен, қыркүйекте небәрі 9,6 мм ғана ылғал түсіп көпжылдық мәннен айтарлықтай төмен деңгейде сақталды. Сондай – ақ ауа температурасыда төмендеп бұл айда 12,4°C (+0,43°C) құрады.

Осылайша, 2025 жылы қалыптасқан топырақ климаттық жағдайларға бойланысты гидротермиялық коэффициент (ГТК) арқылы бағалау ылғалмен қамтамасыз етілу деңгейінің төмен екенін көрсетті. Зерттеу жүргізілген кезең бойынша дақылдың вегетациялық кезеңіндегі ГТК = 0,4 болғандықтан, бұл жағдайлар өте қуаң деңгейіне сәйкес келеді, яғни жаздық жұмсақ бидайдың өсіп-дамуындағы шектеуші фактор ретінде ылғал тапшылығының әсері анық байқалды.

Құрғақшылық белгілері, негізінен, маусымның басында және жаз айларында ылғалдың шектеулі түсуімен байланысты байқалды. Жауын-шашын мөлшерінің төмен болуы жағдайында топырақ ылғалының негізгі көзі ретінде көктемгі ылғал қоры маңызды рөл атқарады, сондықтан бастапқы кезеңде егістің

біркелкі көктеуі көбіне топырақтағы жиналған ылғалмен қамтамасыз етіледі. Алайда дақылдың өсіп-дамуының кейінгі кезеңдерінде, әсіресе түптену – түтікке шығу және масақтану – дәннің толысуы кезеңдерінде ылғал тапшылығы өсімдіктің су режимін әлсіретіп, ассимиляциялық аппараттың белсенділігіне және өнім элементтерінің қалыптасуына әсер етті.

Нәтижелер және талқылау. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Agro-Mix биопрепаратын қоспағанда, зерттеуге тартылған барлық биопрепараттар жаздық жұмсақ бидайдың өнімділігін бақылау нұсқасымен салыстырғанда әртүрлі дәрежеде арттырды, мұның өзі олардың өсімдік өнімділігін қалыптастырудағы әлеуетін айқындайды (3-кесте). Бидай өнімі нұсқалар бойынша 17,4–23,4 ц/га аралығында ауытқып, биопрепараттардың әсер ету деңгейі біркелкі болмағанын көрсетті. Ең жоғары және статистикалық тұрғыдан сенімді өнім Mycorrhiza (23,4 ц/га) және Organit N+P+S+B (22,5 ц/га) нұсқаларында қалыптасты, бақылаумен салыстырғанда тиісінше 4,8 және 3,9 ц/га артық болды. SILVER және Organit N+S+B нұсқаларында өнімділік 21,4 ц/га деңгейінде тіркеліп (+2,8 ц/га), ал Organit P+S+B нұсқасында 21,0 ц/га (+2,4 ц/га) құрады, алайда аталған айырмашылықтар сенімділік шегіне жетпегендіктен, өнімділіктің артуы оң бағыттағы үрдіс ретінде ғана бағаланды. BRONZE биопрепараты қолданылған нұсқада өнім 20,3 ц/га деңгейінде қалыптасып, бақылаудан 1,7 ц/га ғана жоғары болуы оның әсерінің әлсіз екенін көрсетті.

3 кесте – Биологиялық препараттармен өңдеудің жаздық жұмсақ бидай өнімділігіне әсері, ц/га

№	Нұсқалар	Өнімділік	
		өнім	қосымша өнім
1	Бақылау	18,6	-
2	COLD	19,1	0,5
3	SILVER	21,4	2,8
4	BRONZE	20,3	1,7
5	Organit N+P+S+B	22,5	3,9
6	Organit P+S+B	21,0	2,4
7	Organit N+S+B	21,4	2,8
8	Mycorrhiza	23,4	4,8
9	Agro-Mix	17,4	-1,2
10	Trichadermin –KZ	18,6	0,0
ETA ₀₅		3,3	

Сонымен қатар, Agro-Mix биопрепаратымен өңдеу жаздық жұмсақ бидай өнімділігінің төмендеуіне алып келді: астық өнімі 17,4 ц/га деңгейінде қалыптасып, бақылаумен салыстырғанда 1,2 ц/га кем болды. Trichadermin–KZ нұсқасында өнімділік бақылау деңгейінде сақталып (18,6 ц/га), препараттың айқын әсері байқалмады. Өнімділігі жоғары нұсқалардың артықшылығы, ең алдымен, тамыр жүйесінің белсенді дамуына, қоректік элементтердің тиімді сіңірілуіне және фотосинтетикалық белсенділіктің артуына байланысты деп түсіндіріледі. Жалпы, жаздық жұмсақ бидай өнімділігінің қалыптасуы өсімдік қоректену деңгейімен қатар өнім құрылымының жекелеген элементтеріне, соның ішінде масақтағы дән саны мен 1000 дән массасына тәуелді.

Өнім құрылымының маңызды көрсеткіштерінің бірі – 1000 дән массасы. Бұл көрсеткіш дәннің ірілігі мен толыққанды қалыптасуын сипаттайды. Зерттеу барысында оның мәні 33,4–34,7 г аралығында өзгеріп, бақылауда 33,9 г болды. Ең жоғары көрсеткіш Trichadermin–KZ нұсқасында тіркелді (34,7 г), бұл бақылаудан 0,8 г артық. Ал ең төмен мән Organit N+P+S+B нұсқасында байқалып (33,4 г), бақылаудан 0,5 г төмен болды. Алынған деректер биопрепараттардың дәннің физикалық толықтығына әсері біркелкі емес екенін көрсетеді (4-кесте).

4 кесте – Биологиялық препараттардың дәннің физикалық көрсеткіштеріне әсері

Тәжірибе нұсқасы	1000 дәннің массасы, г	Бақылаудан ауытқу, +,-	Натуралық массасы, г/л	Бақылаудан ауытқу, +,-	Дән шынылығы, %	Бақылаудан ауытқу, +,-
1	2	3	4	5	6	7
Бақылау	33,9	-	679,3	-	55,5	-
COLD	34,3	+0,40	691,3	+12,0	55,2	-0,3
SILVER	34,0	+0,10	675,7	-3,6	54,8	-0,7
BRONZE	34,57	+0,67	694,0	+14,7	48,1	-7,4
Organit N+P+S+B	33,4	-0,50	667,3	-12,0	52,0	-3,5
Organit P+S+B	34,5	+0,60	663,7	-15,6	52,6	-2,9

4-кестенің жалғасы

Organit N+S+B	34,2	+0,30	653,3	-26,0	46,0	-9,5
Mycorrhiza	34,3	+0,40	689,7	+10,4	52,8	-2,7
Agro-Mix	33,8	-0,10	658,3	-21,0	48,8	-6,7
Trichader min –KZ	34,7	+0,80	665,0	-14,3	52,2	-3,3

Астықтың натуралық массасы – ұн шығымын жанама сипаттайтын маңызды технологиялық көрсеткіш. Зерттеу нәтижелері бойынша бұл көрсеткіш тәжірибе нұсқаларында 653,3–694,0 г/л аралығында өзгерді. Ең жоғары натуралық салмақ BRONZE (694,0 г/л), COLD (691,3 г/л) және Mycorrhiza (689,7 г/л) нұсқаларында анықталып, бақылаудан тиісінше 14,7; 12,0 және 10,4 г/л-ге жоғары болды. Ал ең төмен мән Organit N+S+B нұсқасында тіркелді (653,3 г/л). Дәннің шынылығы 46,0–55,5% аралығында ауытқып, ең жоғары көрсеткіш бақылауда (55,5%) және COLD нұсқасында (55,2%) байқалды. Organit N+S+B, BRONZE және Agro-Mix нұсқаларында шынылықтың төмендеуі тіркелді.

Дәннің физикалық көрсеткіштерімен қатар, оның технологиялық сапасы химиялық құрамымен тығыз байланысты. Әсіресе ақуыз бен желімше мөлшері бидайдың нан пісіру қасиеттерін айқындайтын негізгі факторлардың бірі болып саналады. Бұл көрсеткіштер өсімдіктің қоректену жағдайына, вегетация кезеңіндегі гидротермиялық режимге және қолданылған агротехникалық тәсілдерге тәуелді өзгеріп отырады. Әдеби деректерде бидай дәніндегі ақуыз мөлшерінің кең ауқымда ауытқитыны және өнімділік пен сапа арасындағы байланыс әрдайым тікелей пропорционалды бола бермейтіні көрсетілген [16, 130 б., 17, 89 б.; 18, 20 б.].

Біздің зерттеулерімізде биопрепараттарды қолдануға байланысты жаздық бидай дәніндегі ақуыз мөлшері 12,5–15,1% аралығында өзгеріп, бақылау нұсқасында 14,3% деңгейінде болды. 5-кестеде ақуыздың ең жоғары мөлшері COLD нұсқасында (15,1%) тіркелсе, салыстырмалы түрде жоғары көрсеткіштер BRONZE (14,9%), Mycorrhiza (14,7%) және SILVER (14,6%) нұсқаларында байқалды. Ал Organit тобына жататын бірқатар биопрепараттарда және Agro-Mix нұсқасында ақуыз мөлшерінің төмендеуі анықталып, ең төмен мән Agro-Mix нұсқасында белгіленді (12,5%).

5-кесте– Биологиялық препараттардың дәннің сапалық көрсеткіштеріне әсері

Тәжірибе нұсқасы	Ақуыз мөлшері, %	Бақылаудан ауытқу, +,-	Дән желімше мөлшері, %	Бақылаудан ауытқу, +,-	Шикі желімше-сапасы, бірл. ИДК	Бақылаудан ауытқу, +,-
Бақылау	14,3	-	28,5	-	73,5	-
COLD	15,1	+0,8	29,8	+1,3	74,9	+1,4
SILVER	14,6	+0,3	27,6	-0,9	72,8	-0,7
BRONZE	14,9	+0,6	29,6	+1,1	71,0	-2,5
Organit N+P+S+B	13,2	-1,1	24,8	-3,7	76,8	+3,3
Organit P+S+B	13,5	-0,8	23,8	-4,7	70,1	-3,4
Organit N+S+B	14,1	-0,2	25,0	-3,5	68,6	-4,9
Mycorrhiza	14,7	+0,4	28,4	-0,1	76,2	+2,7
Agro-Mix	12,5	-1,8	20,6	-7,9	75,9	+2,4
Trichadermin – KZ	14,0	-0,3	25,7	-2,8	71,8	-1,7

Шикі желімше мөлшері бойынша бақылау (28,5%), COLD (29,8%), BRONZE (29,6%) және Mycorrhiza (28,4%) нұсқалары I класс талаптарына ($\geq 28,0\%$) сәйкес келді. Шикі желімшенің ең жоғары мөлшері COLD нұсқасында қалыптасып, бақылаудан 1,3%-ға жоғары болды, ал BRONZE нұсқасында бұл айырмашылық 1,1% құрады. Organit негізіндегі биопрепараттар мен Agro-Mix нұсқаларында желімше мөлшерінің айқын төмендеуі тіркелді (–3,7–7,9%). Саңырауқұлақ текті биопрепараттар арасында әсер ету сипаты әрқелкі болып, Mycorrhiza нұсқасы желімше мөлшері бойынша бақылауға жақын нәтижелер көрсетті, ал Trichadermin–KZ нұсқасында көрсеткіштердің төмендеуі байқалды.

Аталған нәтижелер 2025 жылғы өте қуаң жағдаймен (ГТК = 0,4) тығыз байланысты болып, Солтүстік Қазақстан жағдайында жаздық жұмсақ бидайда өнімділік пен дән сапасының (ақуыз, желімше және ИДК көрсеткіштері) қалыптасуы жыл сайынғы гидротермиялық режимге жоғары дәрежеде тәуелді екенін дәлелдейді.

Қорытынды. Ақмола облысының тәлімі жағдайында жүргізілген зерттеулер биологиялық препараттардың жаздық жұмсақ бидайдың өнімділігі мен дән сапасының жекелеген көрсеткіштеріне әртүрлі дәрежеде әсер ететінін көрсетті. Өнімділік деңгейі 17,4–23,4 ц/га аралығында қалыптасып, ең жоғары

көрсеткіш Mycorrhiza нұсқасында, ал ең төмен мән Agro-Mix қолданылған нұсқада тіркелді. Дәннің ақуыз мөлшері 12,5–15,1% шегінде өзгеріп, ең жоғары деңгей COLD нұсқасында байқалды, ал шикі желімше мөлшері бойынша бақылау, COLD, BRONZE және Mycorrhiza нұсқалары I класс талаптарына сәйкес келді. Дәннің физика-технологиялық көрсеткіштері (1000 дән массасы, натуралдық масса және шынылығы) биопрепарат түріне байланысты өзгеріп, BRONZE нұсқасында дән тығыздығының, ал Mycorrhiza нұсқасында ұнның технологиялық тұрақтылығының жақсарғанын көрсетті. Жалпы алғанда, биопрепараттарды қолдану жаздық жұмсақ бидайдың өнімділігі мен дән сапасын оңтайландыруға мүмкіндік береді, ал практикалық тұрғыдан Mycorrhiza, COLD және BRONZE биопрепараттары перспективті нұсқалар ретінде ұсынылады.

Қаржыландыру бойынша ақпарат. Мақала зерттеу нәтижелері 2024-2026 жж. арналған Ғылым және жоғары білім министрлігінің АР23488514 «Солтүстік Қазақстан топырағында және бидайда сульфонилмочевина гербицидтерінің кейінгі әсерлерін, олардың қалдықтарының егіншіліктегі ауыспалы егістіктердегі дақылдарына әсерін зерттеу» атты гранттық қаржыландыру аясында жүргізілген зерттеулер нәтижесінде жазылды.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. **Урожай пшеницы ниже 20 млн тонн получил Казахстан** [Электронный ресурс] // Eldala.kz. – 28 ноября 2025. – URL: <https://eldala.kz/specproekty/23501-urozhay-pshenicy-nizhe-20-mln-tonn-poluchil-kazakhstan> (дата обращения: 06.02.2026).
2. **Положение с продовольствием в мире** [Электронный ресурс]. – 2022. – URL: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/ru/> (дата обращения: 02.11.2025).
3. **Брескина, Г.М. Действие биопрепаратов на рост и развитие сельскохозяйственных культур** [Текст] / Г.М. Брескина, Н.А. Чуюн, Т.И. Панкова // Земледелие. – 2021. – № 3. – С. 27–30.
4. **Дрепа, Е.Б. Применение биопрепаратов Bionovatic при выращивании озимой пшеницы** [Текст] / Е.Б. Дрепа, Р.Н. Пшеничный // Агрохимический вестник. – 2022. – № 4. – С. 73–78.
5. **Рассохина, И.И. Использование микроорганизмов как средство повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур** [Текст] / И.И. Рассохина // АгроЗооТехника. – 2021. – Т. 4. – № 3. – С. 1.
6. **Шаманин, В.П. Генотипическая и экологическая изменчивость содержания цинка в зерне сортов яровой мягкой пшеницы международного питомника КАСИБ** [Текст] / В.П. Шаманин, П. Флис, Т.В. Савин [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2021. – Т. 25. – № 5. – С. 543–551. – DOI: 10.18699/VJ21.061. – EDN QKYLID.
7. **Попов, А.С. Урожайность и качество сортов мягкой озимой пшеницы в восточной зоне Ростовской области** [Текст] / А.С. Попов, Г.П. Герасименко, Д.М. Марченко // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 2(44). – С. 27–30. – EDN WAOXJL.
8. **Singh, S.N. Nutrition in emergencies: Issues involved in ensuring proper nutrition in post-chemical, biological, radiological, and nuclear disaster** [Text] / S.N. Singh // Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences. – 2010. – Vol. 2. – No 3. – P. 248–252.
9. **Shepelev, S.S. Search of genome-wide associations for breeding of spring wheat varieties with high zinc content** [Text] / S.S. Shepelev, V.P. Shamanin, I.V. Pototskaya, A.S. Chursin, O.G. Kuzmin, A.I. Morgunov // Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology: Proc. of the 6th Int. Sci. Conf. – 2021. – P. 202. – DOI: 10.18699/PlantGen2021-186.
10. **Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур**. Вып. 2 [Текст]. – М., 2019. – 329 с.
11. **Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы** [Текст]. – Л., 1973. – 33 с.
12. **ГОСТ 13586.1–68. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице** [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2009. – (Введ. 01.06.1968).
13. **ГОСТ 10840–2017. Зерно. Метод определения натурности** [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2017.
14. **Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов** [Текст] / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
15. **Глухих, М.А. Земледелие: практикум** [Электронный ресурс] / М.А. Глухих. – 2-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2022.
16. **Релина, Л.И. Содержание белка и минералов в зерне некоторых видов тетраплоидных пшениц** [Текст] / Л.И. Релина, Л.А. Вечерская, О.В. Голик // Вестник БарГУ. Сер.: Биологические науки. Сельскохозяйственные науки. – 2019. – № 7. – С. 130–138. – EDN OLACZZ.
17. **Рубец, В.С. Влияние метеорологических условий на качество зерна яровой пшеницы (Triticum L.)** [Текст] / В.С. Рубец, И.Н. Ворончихина, В.В. Пыльнев [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 5. – С. 89–108. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-89-108. – EDN GCEHNJ.

18. Келер, В.В. Роль экологических условий в формировании клейковины у яровой пшеницы [Текст] / В.В. Келер, Т.Г. Овчинникова // Известия ТСХА. – 2021. – № 5. – С. 19–27. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-19-27. – EDN IOUUKP.

REFERENCES:

1. **Urozhaj pshenicy' nizhe 20 mln tonn poluchil Kazakhstan** [Kazakhstan received a wheat harvest below 20 million tons]. ElDala.kz, 28 November 2025. Available at: <https://eldala.kz/specproekty/23501-urozhaj-pshenicy-nizhe-20-mln-tonn-poluchil-kazakhstan> (accessed 06 February 2026). (In Russian)
2. **Polozhenie s prodovol'stvиеm v mire** [World food situation]. FAO, 2022. Available at: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/ru/> (accessed 02 November 2025). (In Russian)
3. **Breskina G.M., Chuyan N.A., Pankova T.I. Dejstvie biopreparatov na rost i razvitie sel'skokhozyajstvenny'h kul'tur** [Effect of biological preparations on the growth and development of agricultural crops]. *Zemledelie*, 2021, no. 3, pp. 27–30. (In Russian)
4. **Drepa E.B., Pshenichnyj R.N. Primenenie biopreparatov Bionovatic pri vy'rashchivanii ozimoi pshenicy'** [Application of Bionovatic biological preparations in winter wheat cultivation]. *Agrokhimicheskij vestnik*, 2022, no. 4, pp. 73–78. (In Russian)
5. **Rassohina I.I. Ispol'zovanie mikroorganizmov kak sredstvo povыsheniya produktivnosti i ustojchivosti sel'skokhozyajstvenny'h kul'tur** [Use of microorganisms as a means to increase productivity and resistance of agricultural crops]. *AgroZooTehnika*, 2021, vol. 4, no. 3, 1 p. (In Russian)
6. **Shamanin V.P., Flis P., Savin T.V., et al. Genotipicheskaya i e'kologicheskaya izmenchivost' soderzhaniya cinka v zerne sortov yarovoi myagkoj pshenicy' mezhdunarodnogo pitomnika KASIB** [Genotypic and environmental variability of zinc content in grain of spring soft wheat varieties from the KASIB international nursery]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 543–551. DOI: 10.18699/VJ21.061.EDN QKYLID. (In Russian)
7. **Popov A.S., Gerasimenko G.P., Marchenko D.M. Urozhajnost' i kachestvo sortov myagkoj ozimoi pshenicy' v vostochnoj zone Rostovskoj oblasti** [Yield and quality of winter bread wheat varieties in the eastern zone of the Rostov region]. *Zernovoe hozyajstvo Rossii*, 2016, no. 2(44), pp. 27–30. EDN WAOXJL. (In Russian)
8. **Singh S.N. Nutrition in emergencies: Issues involved in ensuring proper nutrition in post-chemical, biological, radiological, and nuclear disaster.** *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 2010, vol. 2, no. 3, pp. 248–252.
9. **Shepelev S.S., Shamanin V.P., Potockaya I.V., Chursin A.S., Kuzmin O.G., Morgunov A.I. Search of genome-wide associations for breeding of spring wheat varieties with high zinc content.** *Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology: Proc. of the 6th Int. Sci. Conf.*, 2021, 202. DOI: 10.18699/PlantGen2021-186
10. **Metodika Gosudarstvennogo sortoispy'taniya sel'skokhozyajstvenny'h kul'tur. Vy'p. 2** [Methods of State variety testing of agricultural crops. Issue 2]. Moscow, 2019, 329 p. (In Russian)
11. **Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu mirovoj kollekcii pshenicy'** [Guidelines for studying the world wheat collection]. Leningrad, 1973, 33 p. (In Russian)
12. **GOST 13586.1–68. Zerno. Metody' opredeleniya kolichestva i kachestva klejkoviny' v pshenice** [Grain. Methods for determining the quantity and quality of gluten in wheat]. Moscow: Standartinform, 2009, introduced: 01.06.1968. (In Russian)
13. **GOST 10840–2017. Zerno. Metod opredeleniya natury'** [Grain. Method for determining test weight]. Moscow: Standartinform, 2017. (In Russian)
14. **Dospehov B.A. Metodika polevogo opy'ta s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov** [Methods of field experiment with fundamentals of statistical processing of results]. Moscow, Agropromizdat, 1985, 351 p. (In Russian)
15. **Gluhih M.A. Zemledelie: praktikum** [Agriculture (farming): practicum]. 2nd ed., Saint Petersburg, Lan', 2022. (In Russian)
16. **Relina L.I., Vecherskaya L.A., Golik O.V. Soderzhanie belka i mineralov v zerne nekotory'h vidov tetraploidny'h pshenic** [Protein and mineral content in grain of some tetraploid wheat species]. *Vestnik BarGU. Seriya: Biologicheskie nauki. Sel'skokhozyajstvennye nauki*, 2019, no. 7, pp. 130–138. EDN OLACZZ. (In Russian)
17. **Rubets V.S., Voronchikhina I.N., Pylnev V.V., et al. Vliyanie meteorologicheskikh uslovij na kachestvo zerna yarovoi pshenicy' (Triticum L.)** [Influence of meteorological conditions on grain quality of spring wheat (Triticum L.)]. *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skokhozyajstvennoj akademii*, 2021, no. 5, pp. 89–108. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-89-108.EDNGCEHNJ. (In Russian)
18. **Keler V.V., Ovchinnikova T.G. Rol' e'kologicheskikh uslovij v formirovanii klejkoviny' u yarovoi pshenicy'** [Role of environmental conditions in gluten formation in spring wheat]. *Izvestiya TSHA*, 2021, no. 5, pp. 19–27. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-19-27.EDNIOUUKP. (In Russian)

Авторлар туралы мәліметтер:

Кульжабаев Елдос Муратович* – 8D08102 «Органикалық өсімшілік» білім беру бағдарламасының 2 курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: 87014347171, e-mail: agro_eldos82@mail.ru.

Курбанбаев Алмаз Измуратович – философия докторы, (PhD), Танаптық дақылдар агротехникасы және өсімдік шаруашылығын әртараптандыру зертханасының меңгерушісі, «А.И.Бараев атындағы АШҒӨО» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 021601, Ақмола облысы., Шортанды ауылы, А.И. Бараев көш., 15, 62, тел.: 87472250301, e-mail: almaskurbanbaev@mail.ru.

Кульжанова Салтанат Мукатаевна – география ғылымдарының кандидаты, аға менеджер, «Назарбаев Зияткерлік мектептері» дербес білім беру ұйымының Педагогикалық шеберлік орталығы, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Хусейн бен Талал көш., 21, тел.: 87002523794, e-mail: bota_madi@mail.ru.

Мұратұлы Оразхан – 7M08102 «Агротехнология» білім беру бағдарламасының 2 курс магистранты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ., 62, тел.: 87014347171, e-mail: agro_eldos82@mail.ru.

Кульжабаев Елдос Муратович* – докторант 2 курса образовательной программы 8D08102 – Органическое земледелие, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, проспект Победы, 62, тел.: 8701 434 7171, e-mail: agro_eldos82@mail.ru.

Курбанбаев Алмаз Измуратович – PhD, заведующий лабораторией агротехники полевых культур и диверсификации растениеводства, ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева», Республика Казахстан, 021601, Акмолинская область, Шортанды, п. Научный, ул. А.И. Бараева, 15, тел.: 87472250301, e-mail: almaskurbanbaev@mail.ru.

Кульжанова Салтанат Мукатаевна – кандидат географических наук, Центр педагогического мастерства автономной организации образования «Назарбаев Интеллектуальные школы», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Хусейна бен Талала, 21, тел.: 87002523794, e-mail: bota_madi@mail.ru.

Мұратұлы Оразхан – магистрант 2 курса образовательной программы 7M08102 – Агротехнология, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, проспект Победы, 62, тел.: 87014347171, e-mail: agro_eldos82@mail.ru.

Kulzhabayev Yeldos Muratovich* – 2nd year PhD student, “8D08102 – Organic farming” educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, 62 Zhenis Ave., Astana, 010000, Republic of Kazakhstan, tel.: 87014347171, e-mail: agro_eldos82@mail.ru.

Kurbanbayev Almas Izmuratovich I. – PhD, Head of the Laboratory of Field Crop Agrotechnology and Crop Diversification, A.I.Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Republic of Kazakhstan, 021601, Akmola region, Shortandy district, Nauchy village, 15 A.I.Barayev Str., tel.: 87472250301, e-mail: almaskurbanbaev@mail.ru.

Kulzhanova Saltanat Mukatayevna – Candidate of Geographical Sciences, Center of Pedagogical Excellence, Autonomous Educational Organization “Nazarbayev Intellectual Schools”, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 21 Khussein bin Talal Str., tel.: 87002523794, e-mail: bota_madi@mail.ru.

Muratuly Orazkhan – 2nd year Master's student, “7M08102 – Agrotechnology” educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87014347171, e-mail: agro_eldos82@mail.ru.

МРНТИ 68.75.27

УДК 631.459:631.432

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621145>

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ КАК ЭЛЕМЕНТ ВЛАГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВЫХ СТЕПЕЙ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Муханов Н.К.* – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Серекпаев Н.А. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ГНС ТОО «AgroInnova Consult», г. Астана, Республика Казахстан.

Ногаев А.А. – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Джакупов Н.М. – докторант, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Водный фактор является определяющим элементом устойчивости и продуктивности агроэкосистем засушливых и полусушливых степных регионов, где дефицит влаги выступает главным лимитирующим фактором развития сельскохозяйственных культур. Усиление климатической аридизации, рост среднегодовых температур и увеличение продолжительности засушливых периодов существенно снижают эффективность традиционных систем земледелия и обостряют проблему сохранения почвенной влаги. В этих условиях особый научный и практический интерес представляет применение суперабсорбирующих полимеров (гидрогелей), способных аккумулировать значительные объёмы воды и постепенно высвобождать её в корнеобитаемом слое почвы.

В данной обзорно-аналитической статье выполнен сравнительный анализ современных отечественных и зарубежных научных публикаций за 2015–2025 гг., посвящённых использованию гидрогелей в условиях засушливых степей. Рассмотрены механизмы их действия, влияние на вододерживающую способность почв, физико-гидрологические свойства, физиологическое состояние растений и урожайность сельскохозяйственных культур. Показано, что применение гидрогелей позволяет повысить содержание доступной влаги в почве на 15–40 % и увеличить урожайность в засушливые годы на 10–30 % по сравнению с контролем.

Проведено сопоставление эффективности гидрогелей с традиционными влагосберегающими агротехническими приёмами, такими как мульчирование и минимальная обработка почвы. Отмечены ограничения технологии, включая экономические и экологические аспекты. Обоснована целесообразность комплексного подхода и необходимость дальнейших исследований с учётом региональных почвенно-климатических условий.

Ключевые слова: гидрогели, суперабсорбирующие полимеры, водный режим почв, засушливые степи, сухостепное земледелие, урожайность сельскохозяйственных культур, агроэкологическая устойчивость.

ҚАҢ ДАЛАЛАР ЖАҒДАЙЫНДА ЫЛҒАЛ ҮНЕМДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ШАРАСЫ РЕТІНДЕ ГИДРОГЕЛЬДІ ҚОЛДАНУ: ЗАМАНАУИ ЗЕРТТЕУЛЕРГЕ АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ

Мұханов Н.Қ. * – PhD докторы, қауымдастырылған профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Серекпаев Н.А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, «AgroInnova Consult» ЖШС Бас ғылыми қызметкері, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Ногаев А.А. – PhD докторы, қауымдастырылған профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Джакупов Н.М. – докторант, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Су факторы қуаң және жартылай қуаң дала аймақтарындағы агроэкожүйелердің тұрақтылығы мен өнімділігін айқындайтын негізгі элемент болып табылады, мұнда ылғал тапшылығы ауыл шаруашылығы дақылдарының дамуын шектейтін басты лимиттеуші фактор ретінде көрінеді. Климаттық аридизацияның күшеюі, орташа жылдық температураның жоғарылауы және құрғақ кезеңдердің ұзақтығының артуы дәстүрлі егіншілік жүйелерінің тиімділігін едәуір төмендетіп, топырақ ылғалының сақталу мәселесін ушықтырады. Осындай жағдайларда суды көп мөлшерде сіңіріп, оны топырақтың тамыр жайылатын қабатында біртіндеп босата алатын суперабсорбциялық полимерлерді (гидрогельдерді) қолдану ерекше ғылыми және практикалық қызығушылық тудырады.

Осы шолу-аналитикалық мақалада 2015–2025 жылдар аралығында жарық көрген, қуаң дала жағдайында гидрогельдерді қолдануға арналған отандық және шетелдік ғылыми жарияланымдарға салыстырмалы талдау жүргізілді. Олардың әсер ету механизмдері, топырақтың су ұстау қабілетіне, физика-гидрологиялық қасиеттеріне, өсімдіктердің физиологиялық жағдайына және ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігіне ықпалы қарастырылды. Гидрогельдерді қолдану топырақтағы қолжетімді ылғал мөлшерін 15–40 % арттыруға және қуаң жылдары бақылаумен салыстырғанда өнімділікті 10–30 % ұлғайтуға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

Гидрогельдердің тиімділігі мульчалау және топырақты минималды өңдеу сияқты дәстүрлі ылғал үнемдеуші агротехникалық тәсілдермен салыстырылды. Технологияның экономикалық және экологиялық аспектілерін қоса алғанда, белгілі бір шектеулері атап өтілді. Кешенді тәсілді қолданудың орындылығы және аймақтың топырақ-климаттық ерекшеліктерін ескере отырып, одан әрі зерттеулер жүргізудің қажеттілігі негізделді.

Түйінді сөздер: гидрогельдер, суперабсорбциялық полимерлер, топырақтың су режимі, қуаң далалар, қуаң дала егіншілігі, ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігі, агроэкологиялық тұрақтылық.

APPLICATION OF HYDROGELS AS AN ELEMENT OF WATER-SAVING TECHNOLOGY UNDER ARID STEPPE CONDITIONS: AN ANALYTICAL REVIEW OF CONTEMPORARY RESEARCH

Mukhanov N.K. – PhD, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan.*

Serekpayev N.A. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Research Scientist, AgrolInnovaConsalt LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Nogayev A.A. – PhD, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan.

Dzhakupov N.M. – PhD student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan.

The water factor is a determining element of the sustainability and productivity of agroecosystems in arid and semi-arid steppe regions, where moisture deficit acts as the main limiting factor for the development of agricultural crops. Intensification of climatic aridization, an increase in mean annual air temperatures, and a longer duration of drought periods significantly reduce the efficiency of traditional farming systems and exacerbate the problem of soil moisture conservation. Under these conditions, the application of superabsorbent polymers (hydrogels), capable of accumulating large volumes of water and gradually releasing it into the root zone of the soil, is of particular scientific and practical interest.

This review and analytical paper present a comparative analysis of recent domestic and international scientific publications from 2015–2025 devoted to the use of hydrogels under arid steppe conditions. The mechanisms of their action and their effects on soil water retention capacity, physical and hydrological soil properties, plant physiological status, and crop yields are examined. It is shown that the application of hydrogels can increase the content of available soil moisture by 15–40% and improve crop yields by 10–30% in dry years compared with control treatments.

The effectiveness of hydrogels is compared with traditional water-saving agronomic practices, such as mulching and minimum tillage. The limitations of this technology, including economic and environmental aspects, are highlighted. The feasibility of an integrated approach and the need for further research considering regional soil and climatic conditions are substantiated.

Key words: *hydrogels, superabsorbent polymers, soil water regime, arid steppes, dryland farming, crop yield, agroecological sustainability.*

Введение. Водный фактор является одним из ключевых детерминантов устойчивости и продуктивности агросистем, особенно в условиях засушливых и полузасушливых степных регионов [1]. Дефицит влаги выступает основным лимитирующим фактором развития сельскохозяйственного производства, существенно ограничивая потенциал формирования урожайности и стабильность функционирования агроэкосистем [2, с. 313]. Для большинства территорий степной зоны характерны ограниченные водные ресурсы, высокая испаряемость, а также нестабильный водный режим почв, что в совокупности негативно отражается на росте и развитии сельскохозяйственных культур и устойчивости агроэкосистем [3, с. 17].

Современные климатические изменения, проявляющиеся в виде повышения среднегодовых температур, увеличения продолжительности засушливых периодов и роста климатической неопределенности, дополнительно усугубляют проблему водообеспечения агроландшафтов [4, с. 35]. Особую актуальность проблема влагосбережения приобретает в степной зоне, для которой характерны низкое среднегодовое количество атмосферных осадков и выраженная межгодовая неравномерность их распределения [5, с. 19]. В таких условиях традиционные системы земледелия часто оказываются недостаточно эффективными для компенсации водного дефицита и обеспечения устойчивой продуктивности сельскохозяйственных культур [6, с. 99].

С целью адаптации земледелия к засушливым условиям в аграрной практике широко применяются различные влагосберегающие технологии, включающие почвозащитные системы обработки, минимальную и нулевую обработку почвы, мульчирование, внедрение покровных культур, оптимизацию структуры посевных площадей, а также использование орошаемых систем [7, с. 2]. Указанные подходы направлены на снижение потерь влаги, улучшение водного режима почв и повышение водоеффективности агроэкосистем. Однако в условиях экстремального водного дефицита и усиливающейся климатической аридизации традиционные методы не всегда обеспечивают достаточный эффект и зачастую требуют значительных трудовых, энергетических или финансовых затрат [8, с. 4].

В последние годы возрастающий интерес исследователей и практиков привлекает использование влагопоглощающих материалов – суперабсорбирующих полимеров, или гидрогелей. Гидрогели представляют собой трёхмерные полимерные структуры, способные поглощать и удерживать воду в объёмах, многократно превышающих их собственную массу, с последующим постепенным высвобождением влаги в корнеобитаемый слой почвы. Благодаря данным свойствам гидрогели рассматриваются как перспективный инструмент регулирования водного режима почв и повышения водообеспеченности растений в условиях засушливых и полузасушливых степей [9].

Результаты научных исследований свидетельствуют о потенциальной способности гидрогелей снижать потери влаги на испарение и инфильтрацию, улучшать физико-гидрологические свойства почв и повышать устойчивость растений к водному стрессу [10, с. 28]. Вместе с тем, эффективность их применения остается неоднозначной и в значительной степени зависит от типа почвы, климатических условий, дозы и способа внесения, химической природы полимера и биологических особенностей выращиваемых культур [11, с. 9].

Несмотря на возрастающий объем научных публикаций, посвященных применению гидрогелей в агроэкосистемах, отсутствует единый систематизированный подход к оценке их эффективности в условиях сухостепного земледелия и сопоставлению с традиционными влагосберегающими агротехническими приемами [12, с. 8]. Это обуславливает необходимость проведения аналитического обзора современных отечественных и зарубежных исследований, направленного на обобщение накопленных данных, выявления ключевых закономерностей и определение перспектив применения гидрогелей в аграрной практике засушливых регионов.

Цель исследования. Целью настоящей работы является проведение аналитического сравнительного обзора современных научных публикаций, посвящённых применению гидрогелей для влагосбережения и повышения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях засушливых степей, а также сопоставление эффективности данной технологии с традиционными агротехническими методами сохранения почвенной влаги.

Задачи исследования:

1. Проанализировать современные отечественные и зарубежные научные публикации, посвящённые применению гидрогелей в сельском хозяйстве засушливых и полузасушливых регионов за последние 5–10 лет;
2. Систематизировать данные о механизмах действия гидрогелей и их влиянии на водный режим почв, физиологическое состояние растений и урожайность сельскохозяйственных культур;
3. Провести сравнительный анализ эффективности гидрогелей и традиционных влагосберегающих технологий, включая мульчирование, минимальную и нулевую обработку почвы, а также агротехнические приёмы управления водным режимом.

Материалы и методы. Настоящее аналитическое обзорное исследование основано на критическом анализе современных научных публикаций, отражающих результаты экспериментальных и обзорных работ по применению гидрогелей (суперабсорбирующих полимеров, SAP) в сельском хозяйстве, направленных на повышение водоудерживающей способности почв и устойчивости культур в условиях дефицита влаги. Используемые материалы включают рецензируемые статьи из международных баз данных Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect, MDPI и отечественные научные журналы аграрного профиля, а также специализированные обзоры и мета – анализы по данной теме.

Поиск и отбор литературы осуществлялся в период с 2015 по 2025 гг. с приоритетом публикаций за последние 5-7 лет, поскольку именно в этот период наблюдается значительный рост исследований по использованию гидрогелей в аграрном секторе. Поиск осуществлялся с использованием ключевых слов и словосочетаний: *hydrogel, superabsorbent polymer, soil water retention, dryland agriculture, arid and semi-arid conditions, water conservation agriculture*, гидрогель, влагоудержание почвы, суперабсорбирующие полимеры в сельском хозяйстве. Такие ключевые слова обеспечили широкий охват как фундаментальных, так и прикладных работ.

Используемые источники включают как международные обзорные публикации, так и экспериментальные исследования:

- обзорные статьи по применению суперабсорбирующих гидрогелей в сельском хозяйстве [13, с. 23], где рассматриваются механизмы водоудержания, свойства полимеров и их влияние на улучшение физико-химических свойств почв;
- обзор современных SAP-гидрогелей с акцентом на устойчивое земледелие [14, с. 18], в котором обсуждается влияние этих материалов на водный режим и водопользование;
- публикации, посвященные синтезу и применению гидрогелей на основе полимеров (например, polyacrylamide) с акцентом на водоудержание и улучшение структуры почвы [15, с.145];
- экспериментальные исследования и обзоры биополимерных SAP-гидрогелей, объясняющие влияние состава гидрогеля на водопоглощение и экологическую безопасность (мета-анализы по биополимерным гидрогелям) [16];
- Muhammad N. и др. [16] анализируют применение гидрогелей как практики сохранения воды в засушливом сельском хозяйстве, обсуждая преимущества и ограничения синтетических и натуральных гидрогелей.

Отбор публикаций проводился по следующим критериям:

1. Временной диапазон: исследования, опубликованные в 2015-2025 гг., с приоритетом работ последних 5 - 7 лет;
2. Тематика: работы, сфокусированные на применение гидрогелей именно в аграрных условиях засушливых и полузасушливых регионов;

3. Наличие количественных данных: исследования, включающие данные по водоудерживающей способности почв, испарению, физиологическим параметрам растений, урожайности и эффективности технологий.

Методы анализа литературных источников включали:

1. Сравнительный анализ экспериментальных данных различных авторов по ключевым показателям (WHC-water holding capacity, WUE-water use efficiency, рост и продуктивность растений). Этот метод позволил выявить разницу в результатах применения гидрогелей в различных почвенно-климатических условиях и на разных культурах, а также сравнить технологию с традиционными приемами (капельное орошение, мульчирование, минимальная обработка почвы).

2. Классификация публикаций по тематическим блокам:

- механизмы действия гидрогелей (структура, химический состав, поглощение и высвобождение воды в почве);

- изменение водного режима почв (WHC, снижение испарения, влияние на фильтрацию и капиллярные свойства);

- влияние на физиологию растений и урожайность (рост культуры, биомасса, урожай);

- экологические аспекты и биоразлагаемость гидрогелей. Такая классификация способствовала пониманию ролей гидрогелей в комплексном контексте устойчивого земледелия.

3. Обобщение и интерпретация результатов включали сопоставление выводов, выявленных в международных публикациях, с данными отечественных исследований, где это было возможно. Особое внимание уделялось работам, где гидрогели применялись в реальных полевых условиях, а не только в лабораторных экспериментах. Эти данные позволяют оценить практическую применимость материалов для решения водосберегающих задач.

4. Критическая оценка надежности исследований, включающая анализ масштаба экспериментов, статистическую значимость полученных данных, репрезентативность почвенно-агроклиматических условий и методику измерения ключевых параметров.

В результате применения указанных методов был сформирован системный материал, отражающий как современные научные подходы к использованию гидрогелей в засушливом сельском хозяйстве, так и возможности их применения на практике в сравнении с традиционными влагосберегающими методами.

Настоящее исследование выполняется в рамках проекта AP26104511 «Изучение влияния комплексных агрономелиоративных мероприятий на водный режим, плодородие почв и урожайность кормовых культур в степной зоне Северного Казахстана» и направлено на систематизацию научных данных об эффективности гидрогелей как одного из перспективных агрономелиоративных приёмов влагосбережения в условиях аридного земледелия.

Результаты исследования и их обсуждение.

1. Гидрогели как влагосберегающая добавка в почве.

Механизм влагосбережения гидрогелей в почвенной среде. Гидрогели представляют собой трёхмерные сшитые полимерные сети, способные поглощать и удерживать значительные объёмы воды (до 100-1000 г воды на 1 г. сухого вещества) без растворения. При внесении в почву они функционируют как микрорезервуары влаги, аккумулируя воду в периоды осадков или орошения и постепенно высвобождая ее в зону корнеобитания растений при снижении почвенной влажности.

Основные механизмы влагосбережения включают:

- капиллярное удержание воды в гидрофильной матрице;
- снижение скорости инфильтрации и фильтрационных потерь;
- уменьшение испарения за счет стабилизации почвенной структуры;
- поддержание доступной влаги в диапазоне оптимального водного потенциала для растений.

Особенно эффективно гидрогели проявляются в почвах с низкой влагоудерживающей способностью – песчаных и супесчаных, где потери воды из-за гравитационного стока и испарения наиболее выражены [17, с. 105, 18, с. 70].

Влияние гидрогелей на водно-физические свойства почв. Анализ данных современных исследований (2018-2025гг.) показывает, что внесение полимерных и "зеленых" гидрогелей приводит к статистически значимому улучшению водно-физических характеристик почвы.

Основные эффекты:

- увеличение общей и доступной влагоёмкости почвы;
- повышение полевой влагоёмкости (FC);
- снижение коэффициента водопроницаемости;
- стабилизация агрегатного состава.

Согласно обобщённым литературным данным, содержание доступной влаги в почве увеличивается на 15-40% по сравнению с контролем, при этом максимальный эффект наблюдается при дозах гидрогеля 0,1-0,3% от массы сухой почвы [19, с. 365, 20, с. 451, 21, с. 235].

Таблица 1 – Влияние гидрогелей на влагоемкость различных типов почв

Тип почвы	Увеличение доступной влаги, %	Основной эффект
Песчаная	30-40	Снижение фильтрационных потерь
Супесчаная	25-35	Повышение полевой влагоемкости
Суглинистая	10-20	Улучшение структуры
Глинистая	5-15	Снижение плотности сложения

Составлено по данным [19, 21, 22].

Почвенно-текстурная зависимость эффективности гидрогелей. Эффективность гидрогелей существенно зависит от гранулометрического состава почвы. В легких почвах гидрогели компенсируют дефицит мелких пор, обеспечивающих удержание воды, тогда как в тяжелых почвах их роль смещается в сторону структурообразования.

В суглинистых и глинистых почвах отмечаются:

- снижение объемной массы на 5-12%;
- повышение пористости;
- уменьшение растрескивания при высыхании [22, с. 3]

Однако чрезмерное внесение гидрогелей в тяжелые почвы может приводить к переувлажнению и ухудшению аэрации, что подчёркивает необходимость оптимизации дозировки.

Долговременный эффект и устойчивость гидрогелей в почве. Продолжительность функционирования гидрогелей в почве варьирует от 1 до 5 лет в зависимости от:

- химической природы полимера;
- степени сшивки;
- микробиологической активности почвы;
- климатических условий.

Современные "зеленые" гидрогели на основе природных полисахаридов (крахмал, целлюлоза, хитозан, альгинаты) демонстрируют биodeградацию без образования токсичных продуктов, что делает их перспективными с точки зрения экологической устойчивости [16, 23, с. 73].

Таким образом, гидрогели являются эффективным инструментом регулирования водного режима почв, особенно в условиях аридного земледелия и изменения климата. Их применение:

- снижает потребность в поливной воде;
- повышает устойчивость растений к засухе;
- улучшает агрофизическое состояние почв.

Тем не менее, эффективность гидрогелей определяется комплексом факторов, включая тип почвы, дозировку, химическую природу материала и агротехнические условия. В этом контексте "зеленые" гидрогели представляют особый интерес как экологически безопасная альтернатива синтетическим аналогам.

2. Влияние гидрогелей на рост и урожайность сельскохозяйственных культур.

Влияние гидрогелей на ростовые показатели растений. Анализ экспериментальных и полевых исследований показывает, что гидрогели оказывают положительное влияние на ростовые параметры сельскохозяйственных культур, прежде всего за счет стабилизации влажности в ризосфере и повышения доступности воды для корневой системы. В условиях водного стресса формируется более развитая корневая система, что способствует повышению устойчивости растений к засухе и улучшению минерального питания [20, с. 451, 24, с. 259, 25, с. 1].

Наиболее выраженные эффекты наблюдаются на ранних этапах вегетации, когда растения наиболее чувствительны к дефициту влаги.

Таблица 2 – Влияние гидрогелей на ростовые показатели сельскохозяйственных культур (обобщение литературных данных)

Культура	Тип почвы	Доза гидрогеля, %	Прирост длины, %		Источник
			корней	надземной массы	
Пшеница	Супесчаная	0,2	18-25	12-20	[19, с. 365]
Кукуруза	Песчаная	0,1-0,3	20-35	15-28	[26, с.37]
Ячмень	Суглинистая	0,15	15-22	10-18	[13, с.23]
Люцерна	Супесчаная	0,2	22-30	18-25	[27, с.76]

Влияние гидрогелей на водный статус растений и эффективность использования влаги. Использование гидрогелей в почве способствует улучшению водного статуса растений, что выражается в повышении относительного содержания воды в листьях и коэффициента использования влаги (WUE). Это особенно важно в условиях ограниченного орошения и нерегулярных осадков.

Таблица 3 – Влияние гидрогелей на водный статус растений (физиологические показатели)

Культура	Условия увлажнения	RWC*, % (контроль)	RWC*, % (гидрогель)	Прирост WUE, %	Источник
Пшеница	Засуха	62-68	72-78	15-25	[28, с.24]
Кукуруза	Ограниченный полив	65-70	75-82	20-30	[29, с.101]
Сорго	Аридные условия	58-64	70-76	25-35	[11, с.1]

* RWC – относительное содержание воды в листьях

Влияние гидрогелей на урожайность сельскохозяйственных культур. Урожайность является интегральным показателем эффективности применения гидрогелей. Обзор полевых исследований демонстрирует устойчивую тенденцию к увеличению продуктивности культур в условиях водного дефицита, особенно в засушливые годы.

Таблица 4 – Прибавка урожайности сельскохозяйственных культур при применении гидрогелей

Культура	Климатические условия	Доза гидрогеля, %	Урожайность, т/га		Прибавка, %	Источник
			контроль	с гидрогелем		
Пшеница	Засушливый год	0,2	3,2	3,9-4,1	20-28	[28, с.24]
Кукуруза	Ограниченный полив	0,3	6,5	7,8-8,2	20-26	[29, с.101]
Сорго	Аридные условия	0,25	2,8	3,5-3,8	25-35	[30, с. 1]
Кормовые травы	Засуха	0,2	18	20-22	10-22	[27, с.76]

Сочетание гидрогелей с влагосберегающими агротехнологиями. Систематизация литературных данных показывает, что максимальный эффект достигается при интеграции гидрогелей в комплекс влагосберегающих технологий. Такой подход позволяет не только увеличивать урожайность, но и повысить водную продуктивность агроэкосистем.

Таблица 5 – Синергетический эффект гидрогелей и влагосберегающих технологий

Агротехнический приём	Урожайность, %		Дополнительный эффект
	без гидрогеля	с гидрогелем	
Ограниченное орошение	+5-8	+18-25	Повышение WUE*
Минимальная обработка почвы	+6-10	+20-30	Снижение испарения
Мульчирование	+8-12	+22-35	Стабилизация влаги
Капельное орошение	+10-15	+25-40	Оптимизация водоподачи

*WUE (Water Use Efficiency) – коэффициент (или эффективность) использования воды растениями

Таким образом, анализ литературных данных позволяет заключить, что гидрогели оказывают комплексное положительное влияние на рост, физиологическое состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур. Их эффективность особенно высока в условиях водного стресса и при интеграции в современные влагосберегающие системы земледелия. С научной точки зрения, гидрогели следует рассматривать не как самостоятельный агротехнический прием, а как элемент адаптивных агротехнологий, направленных на повышение устойчивости агроэкосистем к климатическим изменениям.

3. Ограничения и экологические аспекты применения гидрогелей.

Экономические ограничения применения гидрогелей. Несмотря на доказанную агрономическую эффективность, широкое внедрение гидрогелей в сельскохозяйственную практику сдерживается рядом экономических факторов. В первую очередь это относится к высокой стоимости синтетических суперпоглощающих полимеров (SAP), получаемых на основе полиакриамида, полиакрилата и их сополимеров [17, с. 105, 19, с. 365]. Стоимость таких материалов зачастую делает их применение экономически оправданным лишь: в интенсивных системах земледелия; при выращивании высокорентабельных культур; в условиях острого дефицита водных ресурсов.

Таблица 6 – Экономические ограничения применения гидрогелей в сельском хозяйстве

Параметр	Синтетические гидрогели	Биополимерные гидрогели
Стоимость сырья	Высокая	Средняя/низкая
Доступность	Ограниченная	Высокая
Экономическая окупаемость	Зависит от культуры и климата	Выше в долгосрочной перспективе
Масштабируемость	Ограничена	Более высокая

Составлено по данным [20, с. 451]

Долговечность и неопределенность сроков разложения в почве. Существенным ограничением синтетических гидрогелей является неопределённость сроков их деградации в почвенной среде. Согласно литературным источникам, время их сохранности, может составлять от 3 до 7 лет и более, в зависимости от: химической структуры полимера; степени сшивки; микробиологической активности почвы; климатических условий [31]. При этом деградация часто протекает неравномерно, что затрудняет прогнозирование остаточного эффекта и экологических последствий.

Таблица 7 – Сравнение сроков разложения различных типов гидрогелей в почве

Тип гидрогеля	Основная матрица	Оценочный срок разложения	Источник
Полиакриламидный	Синтетический полимер	5-7 лет	[32, с.47]
Полиакрилатный	Синтетический полимер	3-5 лет	[33, с.15]
Крахмал-содержащий	Биополимер	1-3 года	[34, с.317]
Целлюлозный	Биополимер	6-24 месяцев	[35, с.10]
Хитозановый	Биополимер	6-18 месяцев	[36, с.981]

Потенциальные экологические риски и токсикологические аспекты. Одним из наиболее дискуссионных вопросов является экологическая безопасность продуктов деградации синтетических гидрогелей. В литературе указывается на возможность образования: остаточных мономеров (акриламид); низкомолекулярных фрагментов полимеров; микропластиковых частиц [37, с. 113]. Акриламид, в частности, рассматривается как потенциально токсичное и канцерогенное соединение, что вызывает обоснованные опасения при длительном использовании синтетических гидрогелей в агроэкосистемах.

Таблица 8 – Экологические риски, связанные с применением гидрогелей

Критерий	Синтетические гидрогели	Биополимерные гидрогели
Токсичность продуктов распада	Возможна	Минимальная
Риск накопления в почве	Средний - высокий	Низкий
Влияние на почвенную микробиоту	Потенциально негативное	Нейтральное/положительное
Образование микропластика	Возможное	Отсутствует

Влияние гидрогелей на почвенную биоту и экосистемные процессы. Исследования влияния гидрогелей на почвенную микрофлору и мезофауну демонстрируют противоречивые результаты. С одной стороны, улучшение водного режима способствует микробной активности и биологической минерализации органического вещества. С другой – присутствие синтетических полимеров может изменять структуру микробных сообществ [38, с. 245]. В отличие от них, биополимерные и "зеленые" гидрогели, синтезированные на основе природных полисахаридов, зачастую: служат дополнительным источником углерода; стимулируют развитие полезной микрофлоры; не нарушают биохимические циклы [9, с. 5].

Перспективы развития биополимерных и биоразлагаемых гидрогелей. В связи с выявленными экологическими и экономическими ограничениями синтетических гидрогелей в последние годы активно развиваются исследования биоразлагаемых гидрогелей, получаемых из: крахмала и его производных; целлюлозы и наноцеллюлозы; хитозана; альгинатов и пектинов [39].

Такие материалы характеризуются: меньшей экологической нагрузкой; предсказуемой биodeградацией; возможностью использования возобновляемого сырья.

Таблица 9 – Сравнительная характеристика синтетических и биополимерных гидрогелей

Параметр	Синтетические	Биополимерные
Происхождение сырья	Невозобновляемое	Возобновляемая
Биodeградация	Медленная/частичная	Полная
Экологическая безопасность	Ограниченная	Высокая
Совместимость с устойчивым земледелием	Средняя	Высокая

Таким образом, несмотря на высокую агрономическую эффективность гидрогелей, их практическое применение ограничивается экономическими, экологическими и регуляторными факторами. Современные тенденции развития агротехнологий указывают на необходимость перехода от синтетических гидрогелей к экологически безопасным биополимерным системам, что полностью соответствует концепциям устойчивого и "зеленого" земледелия.

Обсуждение

Результаты анализа литературных данных подтверждают, что гидрогели являются эффективным инструментом регулирования водного режима почв, особенно в условиях аридного земледелия.

Их применение снижает потребность в поливной воде, повышает устойчивость растений к засухе и улучшает агрофизическое состояние почв. Наибольший эффект наблюдается в лёгких по гранулометрическому составу почвах, где гидрогели компенсируют дефицит мелких пор, обеспечивающих удержание воды.

С научной точки зрения, гидрогели следует рассматривать не как самостоятельный агротехнический приём, а как элемент адаптивных агротехнологий. Максимальный агрономический эффект достигается при интеграции гидрогелей с традиционными влагосберегающими агротехническими приёмами (ограниченное орошение, минимальная обработка почвы, мульчирование), что подтверждает синергетический характер их совместного применения. Современные тенденции указывают на необходимость перехода от синтетических гидрогелей к экологически безопасным биополимерным системам.

Заключение

1. Проведенный обзорно-аналитический анализ современных исследований показывает, что гидрогели являются эффективным элементом влагосберегающих технологий в условиях засушливых и полусухих агроландшафтов. Их применение способствует увеличению влагоёмкости почв, снижению фильтрационных и испарительных потерь воды и стабилизации водного режима в корнеобитаемом слое.

2. Установлено, что наибольшая эффективность гидрогелей проявляется в почвах легкого гранулометрического состава, где они функционируют как микрорезервуары влаги, обеспечивая ее пролонгированное высвобождение и повышение доступности для растений в критические фазы вегетации.

3. Анализ данных по росту и урожайности сельскохозяйственных культур свидетельствуют о положительном влиянии гидрогелей на развитие корневой системы, водный статус растений и коэффициент использования воды (WUE), что в засушливые годы приводит к увеличению урожайности зерновых и кормовых культур в среднем на 10-30%.

4. Показано, что максимальный агрономический эффект достигается при интеграции гидрогелей с традиционными влагосберегающими агротехническими приёмами (ограниченное орошение, минимальная обработка почвы, мульчирование), что подтверждается синергетический характер их совместного применения.

5. Вместе с тем выявлены существенные ограничения, связанные с высокой стоимостью синтетических гидрогелей, неопределенностью сроков их разложения в почве и потенциальными экологическими рисками, обусловленными накоплением продуктов деградации полимеров и возможным воздействием на почвенную биоту.

6. В этой связи перспективным направлением дальнейших исследований является разработка и внедрение биоразлагаемых и биополимерных гидрогелей, обладающих предсказуемой деградацией, меньшей экологической нагрузкой и более высокой совместимостью с принципами устойчивого земледелия.

7. Несмотря на значительный объем накопленных научных данных, практическая эффективность применения гидрогелей остается контекстно обусловленной и в значительной степени зависит от почвенно-климатических условий, дозировки, способов внесения и сочетания с другими агротехнологиями.

8. Особую актуальность приобретает необходимость проведения комплексных полевых исследований в условиях степной зоны Северного Казахстана, характеризующейся континентальным климатом, высокой испаряемостью, неравномерным увлажнением и разнообразием типов почв.

9. Проведение таких исследований позволит обоснованно оценить целесообразность применения гидрогелей в региональных агроэкосистемах, оптимизировать параметры их использования и сопоставить их эффективность с традиционными методами сохранения влаги.

10. Полученные результаты могут стать научной основой для разработки практических рекомендаций по внедрению гидрогелей в систему устойчивого земледелия степной зоны Северного Казахстана, направленной на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и адаптацию агропроизводства к условиям климатической аридизации.

Информация о финансировании

Исследование выполнено в рамках научного проекта AP26104511 «Изучение влияния комплексных агроуправляющих мероприятий на водный режим, плодородие почв и урожайность кормовых культур в степной зоне Северного Казахстана».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Навстречу «зеленой» экономике: пути к устойчивому развитию и искоренению бедности: обобщающий доклад для представителей властных структур / ЮНЕП. – 2011. – URL: <https://www.unep.org/green-economy> (дата обращения: 06.01.2026).

2. Aimen A.T., Atasheva D.O., Sarbasova G.A., Moldasheva A.B., Orynbaeva U.A., Borkulakova Z., Khazhgaliyeva D.M., Kaldygozova M.A. Ecological economic model of functioning of natural economic complexes of river basins [Text] / A.T. Aimen [et al.] // International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). – 2022. – Vol. 12, Issue 2. – P. 313–322.

3. Аймен А.Т., Аташева Д.О., Хажгалиева Д.М., Сарбасова Г.А., Калдыгозова М.А. Экологизация использования водоземельных ресурсов в земледелии [Текст] / А.Т. Аймен [и др.] // Вестник Dulary University. – 2021. – № 3. – С. 17–31.
4. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Воробьева И.Н. Изменчивость увлажненности степных черноземов в современных условиях при агрогенном воздействии [Текст] / Ю.И. Чевердин, В.А. Беспалов, И.Н. Воробьева // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2025. – № 4 (83). – С. 35–41.
5. Лавров С.А. Влияние климатических изменений на влажность почвы [Текст] / С.А. Лавров // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2025. – № 2. – С. 19–39.
6. Майорова С.Н., Майорова М.А., Зайцева А.Ю. Перспективы адаптации высокоточного земледелия в агропромышленном комплексе Ярославской области [Текст] / С.Н. Майорова, М.А. Майорова, А.Ю. Зайцева // Теоретическая экономика. – 2024. – № 12. – С. 98–108.
7. Почвозащитные методы ведения сельского хозяйства: практическое руководство для фермеров. – Бишкек: ФАО, 2018. – 29 с.
8. Мерзадинов Р., Исаходжаев Р., Усен К. Региональные подходы в борьбе с песчаными и пыльными бурями и засухой в Центральной Азии. Ситуационный анализ [Текст] / Р. Мерзадинов, Р. Исаходжаев, К. Усен. – Алматы, 2021. – 126 с.
9. Khare S., Kumar S., Urmaliya P., Yadav S. Recent advancement and applications of green hydrogels: Revolutionizing biomedicine and environmental sustainability [Text] / S. Khare [et al.] // Results in Chemistry. – 2025. – Vol. 18. – P. 102857. DOI: 10.1016/j.rechem.2025.102857.
10. Ali K., Asad Z., Agbna G.H.D., Saud A., Khan A., Zaidi S.J. Progress and Innovations in Hydrogels for Sustainable Agriculture [Text] / K. Ali [et al.] // Agronomy. – 2024. – Vol. 14, No. 12. – P. 2815. DOI: 10.3390/agronomy14122815.
11. Данилова Т.Н. Влияние полимерных гелей «Ритин-10» и «В 415-К» на водообеспечение зерновых культур в условиях почвенной засухи [Текст] / Т.Н. Данилова // Агрофизика. – 2018. – № 1. – С. 1–9.
12. Данилова А.П., Табынбаева Л.К., Кененбаев С.Б., Бойко В.С. Роль абсорбента AQUASORB в повышении водоудерживающей способности почв [Текст] / А.П. Данилова [и др.] // Агрофизика. – 2018. – № 2. – С. 1–8.
13. Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (обзор) [Текст] / Ю.Г. Максимова, В.А. Щетко, А.Ю. Максимов // Сельскохозяйственная биология. – 2023. – Т. 58, № 1. – С. 23–42. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.1.23rus.
14. Krasnopeeveva E.L., Panova G.G., Yakimansky A.V. Agricultural applications of superabsorbent polymer hydrogels: review of recent research [Text] / E.L. Krasnopeeveva, G.G. Panova, A.V. Yakimansky // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23, No. 23. – P. 15134.
15. Aslan N., Canbolat M.Y. Effects of hydrogel application on soil water retention characteristics, soil evaporation, and saturated hydraulic conductivity in soils [Text] / N. Aslan, M.Y. Canbolat // Soil and Environment. – 2025. – Vol. 44, No. 2. – P. 145–155.
16. Muhammad N., Kader M.A., Al-Solaimani S.G., Abd El-Wahed M.H., Abohassan R.A., Charles M.E. A review of impacts of hydrogels on soil water conservation in dryland agriculture [Text] / N. Muhammad [et al.] // Farming System. – 2025. – Vol. 3, Issue 4. – P. 100166. DOI: 10.1016/j.farsys.2025.100166.
17. Ahmed E.M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review [Text] / E.M. Ahmed // Journal of Advanced Research. – 2015. – Vol. 6, Issue 2. – P. 105–121. DOI: 10.1016/j.jare.2013.07.006.
18. Chang L., Xu L., Liu Y., Qiu D. Superabsorbent polymers used for agricultural water retention [Text] / L. Chang [et al.] // Polymer Testing. – 2020. – Vol. 94. – P. 107021. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2020.107021.
19. Guilherme M.R., Aouada F.A., Fajardo A.R., Martins A.F. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review [Text] / M.R. Guilherme [et al.] // European Polymer Journal. – 2015. – Vol. 72, No. 1. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017.
20. Montesano F.F., Parente A., Santamaria P., Sannino A. Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth [Text] / F.F. Montesano [et al.] // Agriculture and Agricultural Science Procedia. – 2015. – Vol. 4. – P. 451–458. DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.03.052.
21. Omar H., Alsharaeh E.H. Improving Water Retention in Sandy Soils with High-Performance Superabsorbents Hydrogel Polymer [Text] / H. Omar, E.H. Alsharaeh // ACS Omega. – 2024. – Vol. 9, No. 6. DOI: 10.1021/acsomega.4c00727.
22. Abobatta W.F., Hegab R., Atayia S. Effect of different rates of irrigation, soil conditioners, and potassium fertilizer on the productivity and fruit characters of Valencia orange trees (Citrus sinensis L.) growing under North Sinai conditions [Text] / W.F. Abobatta, R. Hegab, S. Atayia. – 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2608379/v1.

23. Mitelut A., Dănilă-Guidea S.M., Popescu P., Draghici M. Use of hydrogels as a sustainable solution for water and nutrients management in plant culture [Text] / A. Mitelut [et al.] // International Conference «Agriculture for Life, Life for Agriculture». – Bucharest, 2022. – Vol. XXVI, No. 2. – P. 73–81.
24. Seleiman M.F., Al-Suhaibani N., Ali N., Akmal M., Alotaibi M., Refay Y., Dindaroglu T., Abdul-Wajid H.H., Battaglia M.L. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects [Text] / M.F. Seleiman [et al.] // Plants (Basel). – 2021. – Vol. 10, No. 2. – P. 259. DOI: 10.3390/plants10020259.
25. Tian X., Suo W., Wang J., Ren X. Effects of soil conditioner on soil-crop nitrogen transport and crop nitrogen utilization under different irrigation levels in China [Text] / X. Tian [et al.] // Journal of Soils and Sediments. – 2023. – Vol. 23, No. 11. – P. 1–14. DOI: 10.1007/s11368-023-03592-x.
26. Санаев С.Т., Сапарниязов И.А. Особенности применения гидрогеля при выращивании овощной (сахарной) кукурузы в условиях Каракалпакстана в качестве повторных культур [Текст] / С.Т. Санаев, И.А. Сапарниязов // Инновационные подходы в решении проблем современного общества: Сборник статей IV Международной научно-практической конференции. – С. 37–40.
27. Пулатов Я.Э., Пулатов Ш.Я., Разокова Г.Т., Расулов Ф.Н. Инновационные подходы совершенствования технологии орошения сельскохозяйственных культур в Таджикистане [Текст] / Я.Э. Пулатов [и др.]. – 2021.
28. Годунова Е.И., Шаповалова Н.Н. Влияние гидрогеля на улучшение водообеспеченности озимой пшеницы в зависимости от периода последействия в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края [Текст] / Е.И. Годунова, Н.Н. Шаповалова // Агрохимический вестник. – 2021. – № 5. – С. 24–27. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-005.
29. Elnamas A.E., Rakhimgaliyeva S., Esbulatova A., Baibaturov T.A., Moghanm F.S., Kandil M.M. Hydrogel Application as a Sustainable Strategy to Improve Maize Yield and Water Productivity under Deficit Irrigation in Uralsk, Kazakhstan [Text] / A.E. Elnamas [et al.] // Egyptian Journal of Soil Science. – 2025. – Vol. 65, No. 3. – P. 1683–1698. DOI: 10.21608/ejss.2025.399948.2245.
30. Oberoi H., Singh J., Tiwana U.S., Goyal M. Interactive effect of irrigation regimes and sowing dates on morphophysiological response, fodder yield and quality and antinutrient HCN of multi-cut sorghum in the semi-arid region [Text] / H. Oberoi [et al.] // Maydica. – 2021. – Vol. 66, No. 1. – P. 1–20.
31. Zanino A., Pizzetti F., Masi M., Rossi F. Polymers as controlled delivery systems in agriculture: The case of atrazine and other pesticides [Text] / A. Zanino [et al.] // European Polymer Journal. – 2024. – Vol. 203. – P. 112665. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2023.112665.
32. Turioni C., Guerrini G., Squartini A., Morari F., Maggini M., Gross S. Biodegradable Hydrogels: Evaluation of Degradation as a Function of Synthesis Parameters and Environmental Conditions [Text] / C. Turioni [et al.] // Soil Systems. – 2021. – Vol. 5, No. 3. – P. 47. DOI: 10.3390/soilsystems5030047.
33. Rizwan M., Gilani S.R., Durani A.I., Naseem S. Materials diversity of hydrogel: Synthesis, polymerization process and soil conditioning properties in agricultural field [Text] / M. Rizwan [et al.] // Journal of Advanced Research. – 2021. – Vol. 33. – P. 15–40. DOI: 10.1016/j.jare.2021.03.007.
34. Mussagy C.U., Magri A. Introduction to cellulose-based nanobiosorbents [Text] / C.U. Mussagy, A. Magri // Water, Air, and Soil Pollution Micro and Nano Technologies. – 2022. – P. 317–332. DOI: 10.1016/B978-0-323-90912-9.00014-9.
35. Zainal S.H., Mohd N.H., Anuar F.H. Preparation of Cellulose-based Hydrogel: A Review [Text] / S.H. Zainal, N.H. Mohd, F.H. Anuar // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – Vol. 10, No. 6. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.12.012.
36. Dash M., Chiellini F., Ottenbrite R.M., Chiellini E. Chitosan – A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications [Text] / M. Dash [et al.] // Progress in Polymer Science. – 2011. – Vol. 36, Issue 8. – P. 981–1014. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2011.02.011.
37. Shtilman M.I. Biodegradation of Polymers [Text] / M.I. Shtilman // Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2015. – Vol. 8, No. 2. – P. 113–130. DOI: 10.17516/1997-1389-2015-8-2-113-130.
38. Махаммадиев С.К., Абдуллаев Ш.З. Влияние гидрогеля на pH почвы в условиях засухи [Текст] / С.К. Махаммадиев, Ш.З. Абдуллаев // Современные проблемы агрономии: материалы конференции. – 2023. – С. 245–248.
39. Berradi A., Aziz F., El Achaby M., Ouazzani N., Mandi L. A Comprehensive Review of Polysaccharide-Based Hydrogels as Promising Biomaterials [Text] / A. Berradi [et al.] // Polymers (Basel). – 2023. – Vol. 15, No. 13. – P. 2908. DOI: 10.3390/polym15132908.

REFERENCES:

1. UNEP. Navstrechyu «zelenoj» e'konomike: puti k ustojchivomu razvitiyu i iskoreneniyu bednosti [Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication]. 2011. Available at: <https://www.unep.org/green-economy> (accessed 06 January 2026). (In Russian)
2. Aimen A.T., Atasheva D.O., Sarbasova G.A., et al. Ecological economic model of functioning of natural economic complexes of river basins. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*, 2022, vol. 12, iss. 2, pp. 313–322.

3. Ajmen A.T., Atasheva D.O., Hazhgalieva D.M., Sarbasova G.A., Kaldygozova M.A. **E'kologizaciya ispolzovaniya vodozemelny'h resursov v zemledelii** [Ecologization of water and land resources use in agriculture]. *Vestnik Dumaty University*, 2021, no. 3, pp. 17–31. (In Russian)
4. Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A., Vorobeva I.N. **Izmenchivost' uvlazhnennosti stepny'h chernozyomov v sovremenny'h usloviyah pri agrogenom vozdejstvii** [Variability of moisture in steppe chernozems under modern agrogenic conditions]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2025, no. 4 (83), pp. 35–41. (In Russian)
5. Lavrov S.A. **Vliyanie klimaticheskikh izmenenij na vlazhnost' pochvy** [Effect of climate change on soil moisture]. *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie*, 2025, no. 2, pp. 19–39. (In Russian)
6. Majorova S.N., Majorova M.A., Zaiceva A.Yu. **Perspektivy' adaptacii vy'sokotochnogo zemledeliya v agropromy'shennom komplekse Yaroslavskoj oblasti** [Prospects for precision agriculture adaptation in the agro-industrial complex of the Yaroslavl region]. *Teoreticheskaya e'konomika*, 2024, no. 12, pp. 98–108. (In Russian)
7. **Pochvozashhitny'e metody' vedeniya sel'skogo hozyajstva: prakticheskoe rukovodstvo dlya fermerov** [Soil-protective farming methods: a practical guide for farmers]. Bishkek, FAO, 2018, 29 p. (In Russian)
8. Merzadinov R., Isahodzhaev R., Usen K. **Regional'ny'e podhody' v bor'be s peschany'mi i py'levy'mi buryami i zassuhoy v Centralnoj Azii. Situacionny'j analiz. Zasuha v Centralnoj Azii** [Regional approaches to combating sand and dust storms and drought in Central Asia]. Almaty, 2021, 126 p. (In Russian)
9. Khare S., Kumar S., Urmaliya P., Yadav S. **Recent advancement and applications of green hydrogels: Revolutionizing biomedicine and environmental sustainability**. *Results in Chemistry*, 2025, vol. 18, art. 102857. DOI: 10.1016/j.rechem.2025.102857
10. Ali K., Asad Z., Agbna G.H.D., Saud A., Khan A., Zaidi S.J. **Progress and Innovations in Hydrogels for Sustainable Agriculture**. *Agronomy*, 2024, vol. 14, no. 12, p. 2815. DOI: 10.3390/agronomy14122815.
11. Danilova T.N. **Vliyanie polimerny'h gelej «Ritin-10» i «V 415-K» na vodoobespechenie zernovy'h kul'tur v usloviyah pochvennoj zasuhi** [Effect of polymer gels on water supply to cereal crops under soil drought]. *Agrofizika*, 2018, no. 1, pp. 1–9. (In Russian)
12. Danilova A.P., Tabynbayeva L.K., Kenenbayev S.B., Boyko V.S. **Rol' absorbenta AQUASORB v povyshenii vodouderzhivayushhej sposobnosti pochv** [Role of AQUASORB absorbent in increasing soil water retention capacity]. *Agrofizika*, 2018, no. 2, pp. 1–8. (In Russian)
13. Maksimova Yu.G., Shchetko V.A., Maksimov A.Yu. **Polimerny'e gidrogeli v sel'skom hozyaystve (obzor)** [Polymer hydrogels in agriculture (review)]. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, 2023, vol. 58, no. 1, pp. 23–42. DOI: 10.15389/agrobiol.2023.1.23rus. (In Russian)
14. Krasnopeeva E.L., Panova G.G., Yakimansky A.V. **Agricultural applications of superabsorbent polymer hydrogels: review of recent research**. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, vol. 23, no. 23, art. 15134.
15. Aslan N., Canbolat M.Y. **Effects of hydrogel application on soil water retention characteristics, soil evaporation, and saturated hydraulic conductivity in soils**. *Soil and Environment*, 2025, vol. 44, no. 2, pp. 145–155.
16. Muhammad N., Kader M.A., Al-Solaimani S.G., Abd El-Wahed M.H., Abohassan R.A., Charles M.E. **A review of impacts of hydrogels on soil water conservation in dryland agriculture**. *Farming System*, 2025, vol. 3, iss. 4, art. 100166. DOI: 10.1016/j.farsys.2025.100166
17. Ahmed E.M. **Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review**. *Journal of Advanced Research*, 2015, vol. 6, iss. 2, pp. 105–121. DOI: 10.1016/j.jare.2013.07.006
18. Chang L., Xu L., Liu Y., Qiu D. **Superabsorbent polymers used for agricultural water retention**. *Polymer Testing*, 2020, vol. 94, art. 107021. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2020.107021
19. Guilherme M.R., Aouada F.A., Fajardo A.R., Martins A.F. **Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review**. *European Polymer Journal*, 2015, vol. 72, no. 1. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2015.04.017
20. Montesano F.F., Parente A., Santamaria P., Sannino A. **Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth**. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2015, vol. 4, pp. 451–458. DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.03.052
21. Omar H., Alsharaeh E.H. **Improving water retention in sandy soils with high-performance superabsorbents hydrogel polymer**. *ACS Omega*, 2024, vol. 9, no. 6. DOI: 10.1021/acsomega.4c00727.
22. Abobatta W.F., Hegab R., Atayia S. **Effect of different rates of irrigation, soil conditioners, and potassium fertilizer on the productivity and fruit characters of Valencia orange trees (Citrus sinensis L.) growing under North Sinai conditions**. 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-2608379/v1
23. Mitelut A., Danaila-Guidea S.M., Popescu P., Draghici M. **Use of hydrogels as a sustainable solution for water and nutrients management in plant culture**. *International Conference Agriculture for Life, Life for Agriculture*, Bucharest, 2022, vol. XXVI, no. 2, pp. 73–81.

24. Seleiman M.F., Al-Suhaibani N., Ali N., et al. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. *Plants (Basel)*, 2021, vol. 10, no. 2, art. 259. DOI: 10.3390/plants10020259
25. Tian X., Suo W., Wang J., Ren X. Effects of soil conditioner on soil-crop nitrogen transport and crop nitrogen utilization under different irrigation levels in China. *Journal of Soils and Sediments*, 2023, vol. 23, no. 11, pp. 1–14. DOI: 10.1007/s11368-023-03592-x
26. Sanayev S.T., Saparniyazov I.A. Osobennosti primeneniya gidrogelya pri vy'rashhivani ovoshchnoj (saharnoj) kukuruzy' v usloviyah Karakalpakstana v kachestve povtorny'h kul'tur [Features of hydrogel application for growing sweet corn as repeated crops in Karakalpakstan]. *Innovacionny'e podhody' v reshenii problem sovremennogo obshhestva: sbornik statej IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, pp. 37–40. (In Russian)
27. Pulatov Ya.E., Pulatov Sh.Ya., Razokova G.T., Rasulov F.N. Innovacionny'e podhody' sovershenstvovaniya tehnologii orosheniya sel'skoxozyaystvenny'h kul'tur v Tadjikistane [Innovative approaches to improving irrigation technology for agricultural crops in Tajikistan]. 2021. (In Russian)
28. Godunova E.I., Shapovalova N.N. Vliyaniye gidrogelya na uluchshenie vodoobespechennosti ozimoy pshenicy' v zavisimosti ot perioda posledeystviya v zone neustojchivogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraja [Effect of hydrogel on improving water supply of winter wheat depending on the aftereffect period in the unstable moisture zone of Stavropol region]. *Agrohimicheskij vestnik*, 2021, no. 5, pp. 24–27. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-5-005. (In Russian)
29. Elnamas A.E., Rakhimgaliyeva S., Esbulatova A., et al. Hydrogel Application as a Sustainable Strategy to Improve Maize Yield and Water Productivity under Deficit Irrigation in Uralsk, Kazakhstan. *Egyptian Journal of Soil Science*, 2025, vol. 65, no. 3, pp. 1683–1698. DOI: 10.21608/ejss.2025.399948.2245
30. Oberoi H., Singh J., Tiwana U.S., Goyal M. Interactive effect of irrigation regimes and sowing dates on morphophysiological response, fodder yield and quality and antinutrient HCN of multi-cut sorghum in the semi-arid region. *Maydica*, 2021, vol. 66, no. 1, pp. 1–20.
31. Zanino A., Pizzetti F., Masi M., Rossi F. Polymers as controlled delivery systems in agriculture: The case of atrazine and other pesticides. *European Polymer Journal*, 2024, vol. 203, p. 112665. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2023.112665
32. Turioni C., Guerrini G., Squartini A., Morari F., Maggini M., Gross S. Biodegradable hydrogels: evaluation of degradation as a function of synthesis parameters and environmental conditions. *Soil Systems*, 2021, vol. 5, no. 3, art. 47. DOI: 10.3390/soilsystems5030047
33. Rizwan M., Gilani S.R., Durani A.I., Naseem S. Materials diversity of hydrogel: Synthesis, polymerization process and soil conditioning properties in agricultural field. *Journal of Advanced Research*, 2021, vol. 33, pp. 15–40. DOI: 10.1016/j.jare.2021.03.007
34. Mussagy C.U., Magri A. Introduction to cellulose-based nanobiosorbents. *Water, Air, and Soil Pollution Micro and Nano Technologies*, 2022, pp. 317–332. DOI: 10.1016/B978-0-323-90912-9.00014-9
35. Zainal S.H., Mohd N.H., Anuar F.H. Preparation of Cellulose-based Hydrogel: A Review. *Journal of Materials Research and Technology*, 2020, vol. 10, no. 6. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.12.012
36. Dash M., Chiellini F., Ottenbrite R.M., Chiellini E. Chitosan – A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 2011, vol. 36, iss. 8, pp. 981–1014. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2011.02.001
37. Shtilman M.I. Biodegradation of Polymers. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2015, vol. 8, no. 2, pp. 113–130. DOI: 10.17516/1997-1389-2015-8-2-113-130
38. Mahammadiev S.K., Abdullaev Sh.Z. Vliyanie gidrogelya na pH pochvy' v usloviyah zasuhi [Effect of hydrogel on soil pH under drought conditions]. *Sovremennyye problemy' agronomii: materialy konferencii*, 2023, pp. 245–248. (In Russian)
39. Berradi A., Aziz F., El Achaby M., Ouazzani N., Mandi L. A Comprehensive review of polysaccharide-based hydrogels as promising biomaterials. *Polymers (Basel)*, 2023, vol. 15, no. 13, art. 2908. DOI: 10.3390/polym15132908

Сведения об авторах:

Муханов Нурболат Кайырболдыевич* – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г.Астана, ул. Е117, дом 33, кв. 66; тел.: 87026888293, e-mail: muhanov1984@mail.ru.

Серекпаев Нурлан Амангельдинович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ГНС ТОО «Agro Innova Consalt», Республика Казахстан, 010000, г.Астана, ул. Р.Багланова, д. 6/1, тел.: 87762924730, e-mail: nurlanserekpayev1@gmail.com.

Ногаев Адилбек Айдарханович – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Ахмет Байтурсынулы, д. 67, кв. 342; тел.: 87016627894, e-mail: a.nogaev@kazatu.edu.kz.

Джакупов Нургельды Мусаевич – докторант PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Кумисбекова, д. 6, кв. 169; тел.: 87770720926, e-mail: dzhakupovnur@gmail.com.

Мұханов Нурболат Кайырболдыевич* – PhD, қауымдастырылған профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 100000, Астана қ., Е117 көш., 33 үй, 66 пәтер; тел.: 87015560280; e-mail: muhanov1984@mail.ru.

Серекпаяев Нурлан Амангельдинович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, «AgroInnovaConsalt» ЖШС Бас ғылыми қызметкері, Астана қ., Қазақстан Республикасы, 100000, Астана қ., Р.Бағланова көш., 6/1 үй., тел.: 87762924730, e-mail: nurlanserekpayev1@gmail.com.

Ногаев Адилбек Айдарханович – PhD докторы, қауымдастырылған профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 100000, Астана қ., Ахмет Байтұрсынұлы көш., 67 үй, 342 пәтер; тел.: 87016627894, e-mail: a.nogaev@kazatu.edu.kz.

Джакупов Нургельды Мусаевич – докторант PhD, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы, 100000, Астана қ., Күмісбеков көш., 6 үй, 169 пәтер, тел.: 87770720926, e-mail: dzhakupovnur@gmail.com.

Mukhanov Nurbolat Kaiyrboldyevich* – PhD, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 33 E117 Str., apt. 66, tel.: 87026888293, e-mail: muhanov1984@mail.ru.

Serekpayev Nurlan Amangeldiyevich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Research Scientist, AgroInnovaConsalt LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 6 R.Baglanov Str., tel.: 87762924730, e-mail: nurlanserekpayev1@gmail.com.

Nogayev Adilbek Aidarkhanovich – PhD, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 67 Akhmet Baitursynuly Str., apt. 342, tel.: 87016627894, e-mail: a.nogaev@kazatu.edu.kz.

Dzhakupov Nurgeldy Mussayevich – PhD student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 6 Kumisbekov Str., apt. 169, tel.: 87770720926, e-mail: dzhakupovnur@gmail.com.

XFTAP 68.05.11

ӨОЖ 543.422:543.544:631.4

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621158>

ТОПЫРАҚ СЫНАМАЛАРЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ ЖАЛПЫ МӨЛШЕРІН РЕНТГЕНФЛУОРЕСЦЕНТТІК СПЕКТРОМЕТРИЯ ЖӘНЕ ИНДУКТИВТІ БАЙЛАНЫСҚАН ПЛАЗМАЛЫ ОПТИКАЛЫҚ-ЭМИССИЯЛЫҚ СПЕКТРОМЕТРИЯ ӘДІСТЕРІМЕН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Нугманов А.Б. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, ауыл шаруашылығы ғылымдары факультетінің деканы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Ысқақ А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Бектұрғанова А.Қ.* – химия мамандығы бойынша жаратылыстану ғылымдарының магистрі, биология, экология және химия кафедрасының аға оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Иржанов Ж. – 8D05101 «Биология» ББ 2 курс докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Бұл жұмыс Қостанай облысы Рудный қаласына іргелес аумақтардан алынған топырақ үлгілеріндегі ауыр металдардың жалпы мөлшерін салыстырмалы талдауға арналған. Тау-кен өндіру кәсіпорындарының ұзақ мерзімді қызметіне байланысты қалыптасқан жоғары техногендік жүктеме жағдайында топырақтың жалпы элементтік құрамын анықтау әдістерін аспаптық верификациялау қоршаған орта ластану деңгейін кешенді бағалаудың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Зерттеудің мақсаты – Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, As, Cr және Co элементтерінің жалпы мөлшерін анықтау барысында рентгенфлуоресценттік спекторметрия (РФС) және индуктивті байланысқан плазмалы оптикалық-эмиссиялық спекторметрия (ИБП-ОЭС) әдістері нәтижелерінің сәйкестігі мен конвергенттілігін бағалау. Әдістемелік бөлімде топырақ үлгілерін $\text{HNO}_3\text{--HCl}$ қышқылдық қоспасымен микротолқынды жүйеде минералдандыру және алынған ерітінділерді ИБП-ОЭС әдісімен талдау, сондай-ақ қатты фазалы үлгілерді РФС әдісімен тікелей зерттеу қарастырылды. Алынған дерек-

терге статистикалық өңдеу жүргізіліп, орташа мәндер, салыстырмалы ауытқулар және корреляция коэффициенттері есептелді. Зерттеу нәтижелері талданған элементтердің жалпы мөлшерін анықтау кезінде екі әдіс арасындағы қанағаттанарлық сәйкестікті көрсетті. РФС әдісі жедел скринингтік бағалау үшін тиімді экспресс-әдіс ретінде дәлелденді, ал ИСП-ОЭС жоғары сезімталдық пен сандық анықтаудың аналитикалық дәлдігін қамтамасыз етеді. Жұмыстың практикалық маңыздылығы Солтүстік Қазақстан аумағындағы топырақтардың экологиялық мониторингін жетілдіруге және техногендік әсерді кешенді бағалауға арналған ғылыми-әдістемелік негіз қалыптастыруда көрінеді.

Түйінді сөздер: ауыр металдардың жалпы мөлшері; топырақтың элементтік құрамы; рентгенфлуоресценттік спектрометрия; индуктивті байланысқан плазмалы оптикалық-эмиссиялық спектрометрия; салыстырмалы талдау; әдістердің конвергенттілігі; техногендік ластану.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАЛОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОБАХ ПОЧВ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ И ОПТИКО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ

Нугманов А.Б. – к.с.-х.н., декан факультета сельскохозяйственных наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Ысқақ А. – к.с.-х.н., директор научно-исследовательского института инновационных технологий, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Бектұрғанова А.Қ.* – магистр естественных наук по специальности химия, старший преподаватель кафедры биологии, экологии и химии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Иржанов Ж.Б. – докторант 2 курса ОП 8D05101 «Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Работа посвящена сравнительному анализу валового содержания тяжёлых металлов в почвенных образцах территорий, прилегающих к городу Рудный Костанайской области. В условиях длительной техногенной нагрузки, обусловленной деятельностью горнодобывающих предприятий, особую актуальность приобретает инструментальная верификация методов определения валового элементного состава почв как интегрального показателя уровня загрязнения. Цель исследования – оценка сопоставимости и конвергентности результатов определения Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, As, Cr и Co методами рентгенофлуоресцентной спектрометрии (РФА) и оптико-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-ОЭС) при определении их валового содержания. Методология включала кислотную минерализацию почвенных проб в микроволновой системе с использованием смеси $\text{HNO}_3\text{--HCl}$ с последующим анализом растворов методом ИСП-ОЭС, а также прямое исследование твёрдофазных образцов методом РФА. Статистическая обработка данных проводилась с расчётом средних значений, относительных отклонений и коэффициентов корреляции. Полученные результаты демонстрируют удовлетворительную сходимость данных двух методов при определении валового содержания исследуемых элементов. РФА подтверждена как эффективный экспресс-метод скрининговой оценки, тогда как ИСП-ОЭС обеспечивает более высокую чувствительность и аналитическую точность. Практическая значимость исследования заключается в формировании обоснованной методической базы для экологического мониторинга почв и комплексной оценки техногенного воздействия на агроландшафты Северного Казахстана.

Ключевые слова: валовое содержание тяжёлых металлов; элементный состав почв; рентгенофлуоресцентная спектрометрия; ИСП-ОЭС; сравнительный анализ; конвергентность методов; техногенное загрязнение.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TOTAL HEAVY METAL CONTENT IN SOIL SAMPLES USING X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY AND INDUCTIVELY COUPLED PLASMA OPTICAL EMISSION SPECTROMETRY

Nugmanov A.B. – Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of Agricultural Science, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Yskak A. – Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Innovative Technologies, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Bekturganova A.K.* – Master of Natural Sciences (Chem.), Senior Lecturer, Department of biology, ecology and chemistry, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Irzhanov Zh.B. – 2nd year PhD student, “8D05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

This study presents a comparative analysis of the total heavy metal content in soil samples collected from territories adjacent to Rudnyi, Kostanay region. Under conditions of long-term technogenic pressure associated with mining activities, instrumental verification of analytical methods for determining the total elemental composition of soils is essential for a comprehensive assessment of environmental contamination. The aim of the research was to evaluate the comparability and convergence of results obtained for the determination of total Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, As, Cr, and Co using X-ray fluorescence spectrometry (XRF) and inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The methodology involved microwave-assisted acid digestion of soil samples using an $\text{HNO}_3\text{--HCl}$ mixture followed by ICP-OES analysis of the resulting solutions, as well as direct XRF solid-phase analysis. Statistical data processing included the calculation of mean concentrations, relative deviations, and correlation coefficients. The results demonstrate satisfactory agreement between the two analytical techniques in determining the total content of the studied elements. XRF proved to be an efficient rapid screening tool, whereas ICP-OES provided higher analytical sensitivity and analytical accuracy. The practical significance of the study lies in the development of a reliable methodological framework for environmental soil monitoring and for assessing technogenic impacts on cultivated lands in Northern Kazakhstan.

Keywords: total heavy metal content, soil elemental composition, X-ray fluorescence spectrometry, ICP-OES, comparative analysis, method convergence, technogenic contamination.

Кіріспе. Топырақтың элементтік құрамын зерттеу Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенінің экологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етудің және тұрақты дамуын қолдаудың іргелі міндеттерінің бірі болып табылады. Ақмола, Қарағанды және Қостанай облыстарының өнеркәсіптік өңірлеріне тән қарқынды техногендік жүктеме жағдайында топырақ жамылғысында қорғасын (Pb), мыс (Cu) және мырыш (Zn) сияқты ауыр металдар мен уытты элементтердің жинақталуы байқалады. Аталған элементтер жоғары миграциялық қабілетке ие және ауылшаруашылық өнімдерінде аккумуляцияланып, халық денсаулығына қауіп төндіруі мүмкін [1, 5 б.]. Потенциалды уытты элементтермен (ПУЭ) топырақтың ластануы қазіргі кезеңдегі өзекті экологиялық мәселелердің бірі болып табылады [2, 243 б.].

Металдарды іздік мөлшерлерде квантификациялау экологиялық тұрғыдан күрделі нысандарды зерттеуде шешуші мәнге ие, өйткені бұл элементтердің кеңістіктік өзгергіштігін және олардың геохимиялық трансформация заңдылықтарын бағалауды қамтамасыз ететін заманауи талдамалық тәсілдерді қолдануды талап етеді [3, 4, 775 б.].

Ауыр металдар топырақ жамылғысының басым ластаушылары қатарына жатады. Экономиканың жедел дамуы мен индустриялану үдерістері, әсіресе дамушы елдерде, топырақтағы олардың концентрациясының артуына әкелді. Нәтижесінде аталған элементтердің жырылатын қабатта жинақталуы ауылшаруашылық өндірісін кеңейту мүмкіндігін шектейді, сондай-ақ олардың трофикалық тізбектер арқылы миграциясы мен ауылшаруашылық дақылдарында биожинақталуы адам денсаулығына теріс әсер ету қаупін арттырады [5, 6].

Элементтік профильді прецизиондық анықтау мақсатында дәстүрлі түрде плазмалық спектрометрия әдістері (ИБП-ОЭС/МС) қолданылады, олар жоғары селективтілігі мен анықтау шегінің (LOD) төмендігіне байланысты «алтын стандарт» ретінде танылған. ИБП ОЭС негізіндегі әдістер, әсіресе уытты элементтердің микро-мөлшерлерін анықтау кезінде, рентгенфлуоресценттік талдаумен салыстырғанда жоғары сезімталдықты қамтамасыз етеді, бұл оларды тереңдетілген геохимиялық зерттеулерде таптырмас құрал етеді [7]. Алайда ИБП-ОЭС әдісін қолдану үлгілердің органикалық матрицасын күрделі әрі ұзақ минералдандыру (қышқылдық ыдырату) рәсімін талап етеді, бұл аумақтарды жаппай скринингтік зерттеу кезінде талдаудың өнімділігін айтарлықтай шектейді [8].

Қатты фазалы фракцияларды жедел мониторингтеудің тиімді баламасы ретінде рентгенфлуоресценттік спектрометрия (РФА) қарастырылады. Қазіргі заманғы портативті және стационарлық анализаторлар үлгілерді алдын ала химиялық өңдеусіз элементтік профильге жедел талдау жүргізуге мүмкіндік береді және магнийден уранға дейінгі диапазонда 0,1 ppm деңгейіне дейінгі дәлдікті қамтамасыз етеді. РФА әдісін қолдану, әсіресе топырақтардың силикат-алюминаттық негізін және биогендік элементтер құрамын бағалау кезінде өзекті болып табылады, себебі бұл әдістің нәтижелері прецизиондық зертханалық талдау деректерімен жоғары үйлесімділік көрсетеді [9, 186 б.; 10, 299 б.]. РФА әдісі алдын ала пробоподготовканы талап етпейді, себебі ол жанаспайтын және үлгіні бұзбайтын талдау тәсілі болып табылады, яғни «жады эффектісі» байқалмайды [11, 2300 б.].

Қазақстанда агроэкологиялық аймақтандыру практикасына заманауи технологияларды енгізу қажеттілігін ескере отырып, РФА әдісін апробациялау және оның нәтижелерін прецизиондық ИБП-ОЭС талдау деректерімен салыстыру өзекті ғылыми-практикалық міндет болып табылады. Бұл жер ресурстарының ластануын бақылауға және топырақ ресурстарын тұрақты басқаруды қамтамасыз етуге арналған сенімді деректер базасын қалыптастыруға мүмкіндік береді [12, 141 б.]. Осыған байланысты аумақты кеңістіктік тұрғыдан жан-жақты зерттеу топырақ жамылғысының ластану деңгейіне кешенді баға беруді қамтамасыз етеді [13].

Зерттеудің мақсаты: Топырақ үлгілеріндегі ауыр металдардың (Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, As, Cr, Co) құрамын рентгенфлуоресценттік спектрометрия (РФСА) және индуктивті байланысқан плазмалы оптикалық-эмиссиялық спектрометрия (ИБП-ОЭС) әдістері арқылы салыстырмалы талдау, алынған нәтиже-

лердің талдамалық сәйкестігі мен конвергенттілігін бағалау, сондай-ақ техногендік жүктемесі жоғары аумақтарды бастапқы экологиялық скринингтеу үшін РФСА әдісін экспресс-тәсіл ретінде қолданудың негізділігін айқындау.

Қойылған мақсатқа сәйкес келесі міндеттер айқындалды:

1. Топырақ үлгілеріндегі нысаналы элементтер тобының (Fe, Zn, Cu, Ni, Pb, As, Cr, Co) құрамына прецизиондық (ИБП-ОЭС) және экспресс-аспаптық (РФСА) әдістерді қолдана отырып, салыстырмалы сандық талдау жүргізу.

2. Алынған нәтижелерге статистикалық верификация жүргізу, элементтердің кеңістіктік біркелкі еместігін бағалау және екі талдамалық тәсілдің нәтижелері арасындағы корреляция коэффициенттерін анықтау.

3. РФСА әдісінің қолданылу шектерін айқындау және техногендік тұрғыдан трансформацияланған аумақтарды бастапқы геохимиялық скринингтеуде оның тиімділігін статистикалық тұрғыдан негіздеу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны ретінде Қазақстан Республикасының Қостанай облысындағы Бейімбет Майлин ауданы (Айет ауылдық округі) аумағынан, Рудный қаласына тікелей жақын орналасқан 18 топырақ үлгісі алынды. Мониторингтік нүктелердің географиялық орналасуы Айет ауылы, Майское ауылы және Рудный қаласы сияқты елді мекендерге жақындығымен сипатталады. Аталған аумақ өңірдің өнеркәсіптік тұрғыдан қарқынды игерілген аймағына жатады, бұл жоғары техногендік жүктемені шарттайды және топырақ жамылғысының элементтік құрамына жүйелі мониторинг жүргізу қажеттілігін негіздейді.

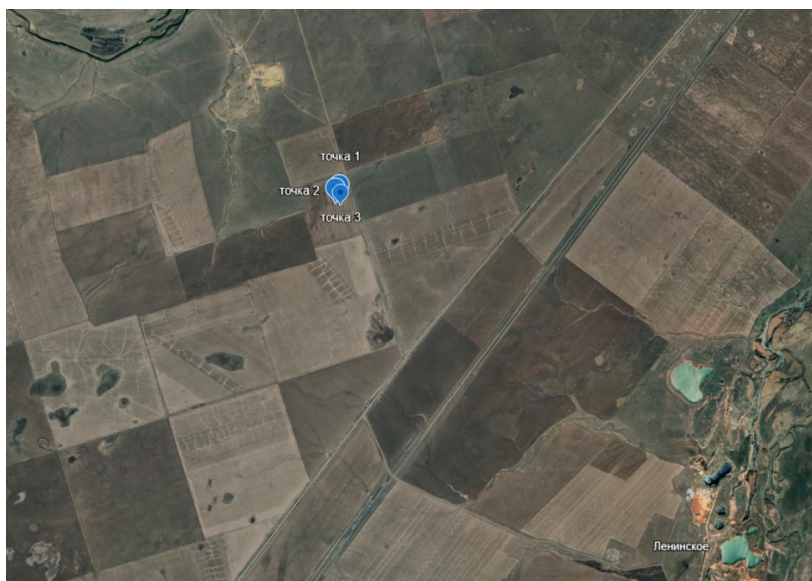
Физикалық-географиялық тұрғыдан зерттелетін учаске Орал үстіртінің шегінде теңіз деңгейінен 197 м биіктікте орналасқан. Тірек алаңы қазіргі уақытта егістік алқабы ретінде пайдаланылатын Тобыл және Аят өзендері аралығының биік, тегістелген бөлігіне орайластырылған. Рельефтің морфологиялық ерекшеліктері (тегіс су айдыны) топырақ профилінің салыстырмалы тұрақтылығына және жоғарғы горизонттағы химиялық элементтердің жинақталу жағдайларының қалыптасуына ықпал етеді.

Топырақ үлгілерін іріктеу МЕМСТ 17.4.2.03–86 стандартына сәйкес жүргізілді. Репрезентативтілікті қамтамасыз ету мақсатында 18 мониторинг учаскесінің әрқайсысында 10×10 м алаң шегінде «конверт» әдісімен алынған 20 нүктелік үлгіні біріктіру арқылы құрамдастырылған үлгі қалыптастырылды. Осылайша, бастапқы далалық материалдың жалпы көлемі 360 нүктелік сынаманы құрады, бұл Қазақстан Республикасында топырақтарды агрохимиялық зерттеу нормативтеріне сәйкес келеді.

Сынамалар антропогендік әсерге неғұрлым сезімтал және биогеохимиялық үдерістердің жоғары қарқындылығымен сипатталатын егістік қабаттан (0–20 см) алынды. Құрамдастырылған сынамалар топырақ бұрғысының көмегімен «конверт» әдісі бойынша қалыптастырылды, бұл іріктеменің репрезентативтілігін қамтамасыз етіп, зерттелетін аумақтың кеңістіктік әртектілігін ескеруге мүмкіндік берді. Таңдау нүктелерінің геореференциясы (1-кесте) спутниктік GPS-навигацияны қолдану арқылы анықталды.

1 кесте – Сынама алу пункттерінің координаттары

Нүкте	Солтүстік ендік	Шығыс бойлық
№1	52,7890173°	62,6869406°
№2	52,7884867°	62,6859271°
№3	52,7882508°	62,6871934°



1 сурет – Сынама алынған Бейімбет Майлин ауданы (Айет ауылдық округі) аумағынан, Рудный қаласына тікелей жақын орналасқан нүктелердің картадағы бейнесі

Біріктірілген сынамалардың массасы мен көлемі қолданылатын аналитикалық әдістердің талаптарына сәйкес келді және индуктивті байланысқан плазмамен рентген-флуоресцентті спекторметрия мен оптикалық-эмиссиялық спекторметрияның аспаптық әдістерін қоса алғанда, топырақтың жалпы элементтік құрамын зерттеудің толық кешенін жүргізуді, сондай-ақ ілеспе физика-химиялық көрсеткіштерді анықтауды қамтамасыз етті.

Зертханалық дайындық топырақ үлгілерін 105 °C температурада кептіру шкафында ауа құрғақ күйге келтіруді, содан кейін ұнтақтау мен фракциялауды қамтыды.

18 репрезентативті сынаманы пайдалану аталған елді мекендер маңындағы топырақ жамылғысының экспресс-диагностикасының дұрыстығын бағалау үшін индуктивті байланысқан плазмамен оптикалық-эмиссиялық спекторметрия (ИБП-ОЭС) және рентген-флуоресцентті спекторметрия (РФСА) әдістерімен алынған нәтижелерге егжей-тегжейлі салыстырмалы талдау жүргізуге мүмкіндік берді. Қатты фазалы үлгілердегі элементтердің мазмұнын жедел бағалау Olympus WORKSTIN-VANTA C (АҚШ) анализаторының көмегімен жүргізілді.

Элементтердің жалпы құрамын анықтау үшін сынамалардың қышқылдық минералдануы қолданылды, содан кейін iCAP PRO Thermo Fisher Scientific ИБП-ОЭС әдісімен талдау жүргізілді. Салмағы $0,20 \pm 0,001$ г топырақ аспасы сынамаларын Ethos Easy микротолқынды дайындау жүйесіне орналастырылды, 9 мл концентрацияланған HNO және 3 мл концентрацияланған HCl қосылды. Минералдандыру жабдық өндірушісінің регламентіне сәйкес жүргізілді. Салқындағаннан кейін ерітінді сандық түрде 100 мл көлемді колбаға ауыстырылды және ультра таза сумен белгіге жеткізілді. Алынған ерітінділер аспаптық талдау үшін пайдаланылды.

Нәтижелер мен талқылау. Бұл бөлімде топырақ үлгілеріндегі ауыр металдардың жалпы құрамын (As, Zn, Pb, Co, Ni, Cr, Fe, Cu) салыстырмалы талдау, рентгенофлуоресцентті спекторметрия (РФСА) және индуктивті байланысқан плазмалық оптикалық-эмиссиялық спекторметрия (ИБП ОЭС) әдістерін қолдану арқылы алынды.

Қорытындылардың сенімділігін қамтамасыз ету мақсатында 18 үлгінің нәтижелеріне кешенді статистикалық өңдеу жүргізілді. Орташа мәндерді, таңдаулы стандарттық ауытқуды және вариация коэффициентін (BK, %) есептеу талдамалық әдістердің қайталанғыштығын ғана емес, сонымен қатар өңірдің техногендік әсерінің ерекшеліктерімен шартталған элементтердің таралуындағы елеулі кеңістіктік біркелкі еместікті бағалауға мүмкіндік берді. Экспресс-талдау (Olympus VANTA C) нәтижелерін және үлгілерді микротолқынды минералдандырудан кейін алынған прецизиондық өлшеулерді салыстыру агроэкожүйелер мониторингі барысында әдістердің конвергенттілік деңгейін айқындауға бағытталды.

Іріктелген топырақ үлгілері ауыр металдардың жалпы мөлшеріне жүргізілген салыстырмалы талдау элементтердің таралу заңдылықтарын және қолданылған талдамалық әдістердің мүмкіндіктерін айқындауға мүмкіндік берді.

ИБП-ОЭС прецизиондық талдау деректеріне сәйкес (1-кесте) зерттелген топырақтарда ең кең таралған элемент – темір (Fe) болып табылады, оның орташа мөлшері 96,951 мг/кг құрады. Жекелеген үлгілерде (№13 үлгі) бұл көрсеткіш 295,743 мг/кг дейін жетеді. РФСА нәтижелері де элементтік профильде темірдің басым рөлін растайды, орташа мәні 27990 мг/кг құрады. Кобальттың (Co) кеңістіктік таралуында елеулі біркелкі еместік байқалады: ИБП-ОЭС деректері бойынша оның концентрациясы 0,765-тен 127,543 мг/кг аралығында ауытқиды, бұл техногендік жинақталудың жергілікті ошақтарының болуы мүмкін екенін көрсетеді.

1 кесте – ИБП-ОЭС әдісі бойынша анықталған ауыр металдардың валдық (жалпы) мөлшері, мг/кг (n=18)

Элемент	ШРК	Орташа мәні	Минимум	Максимум	Дисперсия (S^2)	Сенім интервалы ($\pm 95\%$)	BK, %
As	2,0-10,0	0,384	0,294	0,498	0,0036	0,028	14,8
Zn	55,0	3,416	2,073	5,652	0,6922	0,384	25,7
Pb	32,0	0,376	0,024	1,016	0,0842	0,134	88,5
Co	50,0	48,331	0,765	127,543	2269,8	22,01	105,4
Ni	40,0	3,830	0,666	5,154	1,343	0,536	34,3
Cr	100,0	1,798	0,140	1,874	0,165	0,188	26,1
Fe	-	96,951	1,244	295,743	5849,6	35,33	56,4
Cu	33,0-132,0	0,184	0,103	0,206	0,0011	0,015	20,8

Ескерту:* – Fe үшін ҚР нормативі белгіленбеген

Микроэлементтерді (ауыр металдарды) талдау кезінде әдістердің сезімталдығын салыстырмалы бағалау ИБП-ОЭС әдісінің барлық 18 үлгіде нысаналы элементтердің толық детекциясын қамтамасыз еткенін көрсетті. Сонымен қатар, портативті Olympus VANTA C анализаторы бірқатар элементтер үшін

кейбір топырақ матрицаларында сезімталдық шектеулерін көрсетті. Атап айтқанда, мырыш (Zn), мыс (Cu), қорғасын (Pb) және кобальт (Co) бойынша жекелеген үлгілерде (мысалы, Zn және Cu үшін №1, 3, 4 үлгілер) концентрациялар аспаптың анықтау шегінен төмен болды, бұл деректердегі бос мәндермен белгіленді.

Сонымен қатар, мышьяк (As), никель (Ni) және хром (Cr) сияқты элементтер бойынша екі әдіс те тұрақты сәйкестік көрсетті. ИБП-ОЭС деректері бойынша As орташа мөлшері 0,384 мг/кг (1-кесте) құрады, ал РФСА нәтижелері бойынша – 10 мг/кг (3-кесте), бұл I қауіптілік сыныбына жататын уытты элементтерді скринингтік бағалау кезінде алынған нәтижелердің өзара үйлесімділігін көрсетеді.

2 кесте – РФСА әдісі бойынша анықталған ауыр металдардың валдық (жалпы) мөлшері, % (n=18)

Элемент	Орташа мәні	Минимум	Максимум	Дисперсия (S^2)	Сенім интервалы ($\pm 95\%$)	БК, %
As	0,001	0,0006	0,0015	0,00000008	0,0001	28,0
Zn	0,006	0,0030	0,0074	0,0000014	0,0007	19,7
Pb	0,001	0,0007	0,0017	0,0000001	0,0001	25,0
Co	0,023	0,0110	0,3570	0,0093	0,054	187,0
Ni	0,005	0,0027	0,0078	0,0000019	0,0007	26,4
Cr	0,014	0,0109	0,0236	0,000016	0,0018	24,1
Fe	2,799	1,733	3,598	0,528	0,336	26,0
Cu	0,004	0,0020	0,0041	0,0000004	0,0004	20,0

Салыстырмалы талдау жүргізу алдында РФСА әдісі бойынша алынған нәтижелер пайыздық үлестен (мас. %) мг/кг бірлігіне (кесте 3) қайта есептелді ($1\% = 10\,000$ мг/кг). Нәтижесінде барлық деректер бірыңғай өлшем жүйесіне келтіріліп, әдістер арасындағы сандық салыстыру қамтамасыз етілді.

Алайда алынған нәтижелерді талдау барысында ИБП-ОЭС және РФСА әдістері арасында абсолюттік мәндер бойынша елеулі айырмашылықтар байқалды. Бұл, ең алдымен, ИБП-ОЭС әдісінде қолданылған қышқылдық минерализацияның толық еместігімен, сондай-ақ РФСА әдісінің қатты фазадағы жалпы элементтік құрамды анықтауымен түсіндіріледі. Сонымен қатар, топырақтың минералогиялық құрамы мен матрицалық әсерлер РФСА нәтижелеріне айтарлықтай ықпал етуі мүмкін (кесте 3).

3 кесте – РФСА әдісі бойынша анықталған ауыр металдардың валдық (жалпы) мөлшері, мг/кг (n=18)

Элемент	ШРК	Орташа мәні	Минимум	Максимум	Дисперсия (S^2)	Сенім интервалы ($\pm 95\%$)	БК
As	2,0-10,0	10	6	15	8	1	28,0
Zn	55,0	6	30	74	14	7	19,7
Pb	32,0	10	7	17	10	1	25,0
Co	50,0	230	1100	3570	93000	540	187,0
Ni	40,0	50	27	78	19	7	26,4
Cr	100,0	140	109	236	160	18	24,1
Fe	-	27990	17330	35980	528000	3360	26,0
Cu	33,0-132,0	40	20	41	4	4	20,0

Ескерту: * – Fe үшін ҚР нормативі белгіленбеген

Осыған байланысты, әдістер арасындағы салыстыру абсолюттік концентрациялар бойынша емес, элементтердің таралу заңдылықтары мен корреляциялық байланыстар тұрғысынан жүргізілді.

Экспресс-талдаудың конвергенциясы мен қолданылуы деректерді талдау Olympus VANTA C жабдығына негізделген РФСА әдісі Силикат-алюминий негізі элементтерін және тұрақты жоғары концентрациясы бар металдарды (Fe, Cr, Ni) бағалау кезінде жоғары сенімділікті қамтамасыз ететінін растайды. Алайда ластану деңгейі төмен аймақтарда, яғни Zn, Pb және Cu концентрациялары табиғи фондық мәндерге жуық жағдайларда, экологиялық нормалауды дәл жүргізу үшін ИБП-ОЭС әдісі басымдыққа ие болып табылады. Бұл оның анықтау шектерінің төмен болуымен және микротолқынды минерализация нәтижесінде матрицалық әсерлердің барынша азайтылуымен түсіндіріледі.

Осылайша, зерттелген аумақты жедел карталау мақсатында РФСА әдісін бастапқы скрининг құралы ретінде қолдану орынды болып табылады, ал ауыр металдардың шекті концентрацияларын растау үшін оны ИБП-ОЭС әдісімен арбитраждық өлшеулер арқылы толықтыру қажет.

ИБП-ОЭС және рентгенфлуоресценттік спектралдық талдау (РФСА) әдістері арасындағы нәтижелердің конвергенттілігін (сәйкестігін) бағалау мақсатында Пирсонның корреляция коэффициенттері (r) есептелді. Барлық деректер алдын ала бірыңғай өлшем бірлігіне (мг/кг) келтірілді, бұл әдістер арасындағы сандық салыстырудың дұрыстығын қамтамасыз етті.

Төменде екі әдіспен де анықталған элементтер бойынша жүргізілген корреляциялық талдау нәтижелері келтірілген. Алынған деректерді салыстырмалы талдау және статистикалық өңдеу нәтижелері (4-кесте) топырақтардың элементтік профилін зерттеу аясында ИБП-ОЭС және РФСА әдістерінің аналитикалық сәйкестілігі (өзара алмастырылу мүмкіндігі) жөнінде келесі қорытындыларды тұжырымдауға мүмкіндік береді.

4 кесте – ИБП-ОЭС және РФСА нәтижелері арасындағы корреляция коэффициенттері (барлық деректер мг/кг бірлігінде)

Элемент	Корреляция коэффициенті (r)	Баланыс интерпретациясы
Co	0,82	Күшті
Fe	0,52	Орташа
As	0,48	Орташа
Pb	0,35	Әлсіз
Zn	0,31	Әлсіз
Ni	0,04	Жоқ
Cu	-0,12	Жоқ (теріс)
Cr	-0,41	Орташа теріс

Корреляциялық талдау нәтижелері әдістердің сәйкестік дәрежесі элементке байланысты айтарлықтай өзгертінін көрсетті. Кобальт (Co) ($r = 0,82$) үшін ең жоғары корреляция орнатылған, бұл әдістердің элементтің кеңістіктік өзгергіштігін көрсету үшін салыстырмалы қабілетін көрсетеді. Құралдармен тіркелген абсолюттік концентрациялар арасында елеулі айырмашылықтар болғанымен, аномалиялық жинақталу аймақтарын анықтау кезінде алынған деректердің репрезентативтілігі жоғары деңгейде сақталады.

Темір (Fe) мен мышьяк (As) үшін орташа деңгейдегі корреляция байқалады (тіісінше $r = 0,52$ және $r = 0,48$), алайда абсолюттік мәндерді салыстыру кезінде елеулі айырмашылықтар анықталды: РФСА әдісімен алынған концентрациялар ИСП-ОЭС нәтижелерінен айтарлықтай жоғары. Бұл аналитикалық тәсілдердегі айырмашылықтармен түсіндіріледі: РФСА қатты фазадағы элементтердің жалпы (валдық) құрамын анықтайды, ал ИСП-ОЭС нәтижелері қышқылдық минералданудың толықтығына және элементтердің ерітіндіге өту дәрежесіне тәуелді.

Ni, Cu және Cr элементтері үшін өте төмен немесе инверсиялық (теріс) корреляция анықталды. Мұндай ауытқу зерттелген субстраттардағы аталған металдардың мөлшері РФСА спектрометрінің аналитикалық анықтау шегіне (LOD) жақын диапазонда орналасуымен түсіндіріледі, ал ИБП-ОЭС әдісі ультрамикромөлшер деңгейінде жоғары дәлдіктегі детекцияны қамтамасыз етеді. Хром бойынша тіркелген теріс корреляция ($r = -0,41$) минералогиялық гетерогенділікпен байланысты болуы мүмкін: хромның тұрақты минералдық фазалары беткі сканерлеу кезінде (РФСА) және Ethos Easy жүйесінде жүргізілетін мәжбүрлі микротолқынды минерализация үдерісі барысында (ИБП-ОЭС) әртүрлі аналитикалық көрініс береді.

Zn, Pb және Cu үшін корреляция коэффициенттерінің төмен болуы техногендік трансформация деңгейі төмен аумақтарды мониторингтеу кезінде ИБП-ОЭС әдісінің арбитраждық (эталондық) мәртебесін растайды. Ал рентгенфлуоресценттік талдауды өнеркәсіптік ықпал аймақтарында темір мен кобальттың жалпы мөлшерін жедел диагностикалау құралы ретінде қарастырған орынды.

Салыстырмалы талдау РФСА әдісі бойынша бірқатар элементтер үшін ШРК-ның асуын көрсетеді. Ең жоғары ластану кобальт (Co) үшін анықталды: орташа мөлшері 230 мг/кг (ШРК 50 мг/кг-дан 4,6 есе жоғары), максимумы – 3570 мг/кг, бұл жергілікті техногендік аномалиялардың бар екенін көрсетеді. Сондай-ақ Cr (140 мг/кг, ШРК 100 мг/кг) және Ni (50 мг/кг, ШРК 40 мг/кг) бойынша да асып кетулер байқалады. As концентрациясы ШРК шегіне жетіп, оны асып түседі (15 мг/кг дейін), бұл оның I қауіптілік класына жатуына байланысты ерекше маңызды. Cu мөлшері ШРК-ның төменгі шекарасына сәйкес келеді, ал Zn және Pb нормативтерден аспайды.

ИБП-ОЭС әдісі (жылжымалы формалар) бойынша анықталған концентрациялар айтарлықтай төмен, бұл элементтердің минералдық тордан толық бөлінбеуімен түсіндіріледі. Зерттелген барлық элементтер бойынша мәндер ШРК-дан едәуір төмен.

Анықталған аномалиялар Рудный маңындағы техногендік жүктемемен сәйкес келеді, мұнда темір кенін өндіру және байыту кәсіпорындары жұмыс істейді және олар топыраққа ауыр металдардың (Co, Cr, Ni, As) түсуінің негізгі көздері болып табылады. Ал Fe үшін ШРК белгіленбеген, ал оның жоғары мөлшері (орташа 27 990 мг/кг) аймақтың табиғи геохимиялық фонымен түсіндіріледі.

Осылайша, анықталған ШРК асулары айқын техногендік сипатқа ие, ал РФСА мен ИБП-ОЭС әдістерін кешенді қолдану металдардың жиналу аймақтарын және олардың экологиялық тұрғыдан маңызды жылжымалы формаларын сенімді анықтауға мүмкіндік береді.

Қорытынды. РФСА әдісін қолдану аумақтарды ауқымды карталау және ластану ошақтарын («hot spots») жедел сәйкестендіру үшін ғылыми тұрғыдан негізделген. Алайда топырақтардың экологиялық мәртебесін түпкілікті верификациялау және уытты микроэлементтер (Pb, As, Zn) бойынша жоғары дәл-

діктегі сандық көрсеткіштер алу үшін алдын ала қышқылдық сынама дайындауды жүргізе отырып, ИБП-ОЭС әдісімен аспаптық талдау орындау қажет.

Қаржыландыру бойынша ақпарат. Зерттеу жұмыстары 2024 жылы Ахмет Байтұрсынұлы атындағы ҚҰУ-де 2024-2026 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыру аясында BR24992839 «Қостанай облысының ауыл шаруашылығы жерлері мен өнімдеріне экотоксиканттар мен инновациялық агротехнологиялардың әсерін зерттеу» тақырыбындағы жобасы негізінде жүзеге асырылды.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Адильбеков, Ж.Ш. Контаминация кормов токсичными элементами в Акмолинской и Карагандинской областях Казахстана [Текст] / Ж.Ш. Адильбеков, Р.Х. Мустафина, Ю.А. Балджи, Н.А. Савинкин // *3i: intellect, idea, innovation*. – 2025. – № 3. – С. 5-11.
2. Ambrosino, M. Identification of Rare Earth Elements (REEs) distribution patterns in the soils of Campania region (Italy) using compositional and multivariate data analysis [Text] / M. Ambrosino, S. Albanese, B. De Vivo, et al. // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2022. – Vol. 243. – 107112.
3. Xiang, P. Editorial: Advanced analytical techniques for heavy metals speciation in soil, crop, and human samples [Text] / P. Xiang, Y.-H. Han, H.-B. Li, P. Gao // *Frontiers in Chemistry*. – 2023. – Vol. 11. – 1151371.
4. Guagliardi, I. Editorial for the Special Issue “Potentially Toxic Elements Pollution in Urban and Suburban Environments” [Text] / I. Guagliardi // *Toxics*. – 2022. – Vol. 10. – 775.
5. Sharafi, S. Comprehensive assessment of heavy metal (HMs) contamination and associated health risks in agricultural soils and groundwater proximal to industrial sites [Text] / S. Sharafi, F. Salehi // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – 7518.
6. Nde, S. C. A meta-analysis and experimental survey of heavy metals pollution in agricultural soils [Text] / S. C. Nde, O. M. Felicite, G. S. Aruwajoye, L. G. Palamuleni // *Journal of Trace Elements and Minerals*. – 2024. – Vol. 9. – 100180.
7. Santoro, M. A Comparison between X-ray Fluorescence (XRF) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) for Elemental Analysis of Soil and Sediment Samples [Text] / M. Santoro, S. Gatta, F. Terribile, et al. // *Toxics*. – 2025. – Vol. 13. – No. 4. – Article 314.
8. ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов [Мәтін]. – М.: Стандартинформ, 2010.
9. Чашков, В.Н. Қазақстан су қоймаларының түптік шөгінділерінің гранулометриялық құрамы мен сорбциялық қасиеттері: агроэкологиялық әлеует және экспресс-талдау әдістері [Мәтін] / В.Н. Чашков., С.Б. Куанышбаев., Г.Т. Ермолдина., Ж.К. Науырзбаев., А.М. Нурсейтова // *3i: intellect, idea, innovation*. – 2025. – № 2. – С. 186-193.
10. Сохарев, Е.Ю. Силикатно-алюминатная основа донных осадков водохранилищ и их агроэкологическое значение в условиях умеренного климата [Мәтін] / Е.Ю. Сохарев, А. Ысқақ, Ж.К. Науырзбаев, Г.М. Дәулеткелді // *3i: intellect, idea, innovation*. – 2025. – № 4. – С. 299-309.
11. Balaram, V. Current and emerging analytical techniques for geochemical and geochronological studies [Text] / V. Balaram // *Geological Journal*. – 2021. – Vol. 56. – No. 5. – P. 2300–2359.
12. Ысқақ, А. Исследование агрохимических свойств почв прибрежной зоны Каратомарского водохранилища: агрохимический анализ и выводы [Текст] / А. Ысқақ, С.Б. Куанышбаев, А.Б. Нугманов, А.В. Башев // *3i: intellect, idea, innovation*. – 2024. – № 3. – С. 141-148.
13. Su, C. Integrated framework to assess soil potentially toxic element contamination through 3D pollution analysis in a typical mining city [Text] / C. Su, Y. Yang, M. Jia, Y. Yan // *Chemosphere*. – 2024. – Vol. 359. – 142378.

REFERENCES:

1. Adilbekov Zh.Sh., Mustafina R.H., Baldji Yu.A., Savinkin N.A. Kontaminaciya kormov toksichny'mi e'lementami v Akmolinskoj i Karagandinskoj oblastyah Kazahstana [Contamination of feed with toxic elements in the Akmola and Karaganda regions of Kazakhstan]. *3i: intellect, idea, innovation*, 2025, no. 3, pp. 5-11. (In Russian)
2. Ambrosino M., Albanese S., De Vivo B., et al. Identification of rare earth elements (REEs) distribution patterns in the soils of Campania region (Italy) using compositional and multivariate data analysis. *Journal of Geochemical Exploration*, 2022, vol. 243, art. 107112.
3. Xiang P., Han Y.-H., Li H.-B., Gao P. Editorial: Advanced analytical techniques for heavy metals speciation in soil, crop, and human samples. *Frontiers in Chemistry*, 2023, vol. 11, art. 1151371.
4. Guagliardi I. Editorial for the Special Issue “Potentially toxic elements pollution in urban and suburban environments”. *Toxics*, 2022, vol. 10, art. 775.
5. Sharafi S., Salehi F. Comprehensive assessment of heavy metal (HMs) contamination and associated health risks in agricultural soils and groundwater proximal to industrial sites. *Scientific Reports*, 2025, vol. 15, art. 7518.

6. Nde S.C., Felicite O.M., Aruwajoye G.S., Palamuleni L.G. A meta-analysis and experimental survey of heavy metals pollution in agricultural soils. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 2024, vol. 9, art. 100180.
7. Santoro M., Gatta S., Terribile F., et al. A comparison between X-ray fluorescence (XRF) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) for elemental analysis of soil and sediment samples. *Toxics*, 2025, vol. 13, no. 4, art. 314.
8. GOST 26929-94. Sy'ry'e i produkty' pishhevy'e. Podgotovka prob. Mineralizaciya dlya opredeleniya soderzhaniya toksichny'h e'lementov [Food raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization for determination of toxic elements content]. Moscow, Standartinform, 2010. (In Russian)
9. Chashkov V.N., Kuanyshbayev S.B., Yermoldina G.T., et al. Kazakstan su koymalarynyn tuptik shogindilerinin granulometrialyk kuramy men sorbsialyk kasietteri: agroekologialyk aleueti zhane ekspress-taldau adisteri [Granulometric composition and sorption properties of bottom sediments of Kazakhstan's reservoirs: agroecological potential and express analysis methods]. *3i: intellect, idea, innovation*, 2025, no. 2, pp. 186-193. (In Kazakh)
10. Soharev E.Yu., Iskak A., Nauyrzbayev Zh.K., Dauleteldi G.M. Silikatno-alyuminatnaya osnova donny'h osadkov vodohranilishh i ih agroekologicheskoe znachenie v usloviyah umerennogo klimata [Silicate-aluminate base of reservoir bottom sediments and their agroecological significance in a temperate climate]. *3i: intellect, idea, innovation*, 2025, no. 4, pp. 299-309. (In Russian)
11. Balaram V. Current and emerging analytical techniques for geochemical and geochronological studies. *Geological Journal*, 2021, vol. 56, no. 5, pp. 2300–2359.
12. Iskak A., Kuanyshbayev S.B., Nugmanov A.B., Bashev A.V. Issledovanie agrohimicheskikh svoystv pochv pribrezhnoj zony' Karatomarskogo vodohranilishha: agrohimicheskij analiz i vy'vody' [Investigation of agrochemical properties of soils in the coastal zone of the Karatomar reservoir: agrochemical analysis and conclusions]. *3i: intellect, idea, innovation*, 2024, no. 3, pp. 141-148. (In Russian)
13. Su C., Yang Y., Jia M., Yan Y. Integrated framework to assess soil potentially toxic element contamination through 3D pollution analysis in a typical mining city. *Chemosphere*, 2024, vol. 359, art. 142378.

Авторлар туралы мәліметтер:

Нугманов Алмабек Батыржанович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы ғылымдары факультетінің деканы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, e-mail: almabek.nugmanov@bk.ru.

Ысқақ Алия – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, e-mail: alia-almaz@mail.ru.

Бектұрғанова Айкүміс Қадыржанқызы* – химия мамандығы бойынша жаратылыстану ғылымдарының магистрі, биология, экология және химия кафедрасының аға оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, тел.: 87478914897 e-mail: aika_saken@mail.ru.

Иржанов Жасулан Булатович –8D05101 «Биология» ББ 2 курс докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, e-mail: zhassulankru@gmail.com.

Нугманов Алмабек Батыржанович – к.с.-х.н., декан факультета сельскохозяйственных наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, e-mail: almabek.nugmanov@bk.ru.

Ысқақ Алия – к.с.-х.н., директор научно-исследовательского института инновационных технологий, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, e-mail: alia-almaz@mail.ru.

Бектұрғанова Айкүміс Қадыржанқызы* – магистр естественных наук по специальности химия, старший преподаватель кафедры биологии, экологии и химии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, тел.: 87478914897 e-mail: aika_saken@mail.ru.

Иржанов Жасулан Булатович – докторант 2 курса ОП 8D05101 «Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, e-mail: zhassulankru@gmail.com.

Nugmanov Almabek Batyrzhanovich – Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of agricultural sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., e-mail: almabek.nugmanov@bk.ru.

Yskak Aliya – Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Innovative Technologies, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., e- mail: alia-almaz@mail.ru.

Bekturganova Aikumis Kadyrzhankey* – Master of Natural Sciences (Chem.), Senior Lecturer, Department of biology, ecology and chemistry, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., tel.: 87478914897 e- mail: aika_saken@mail.ru.

Irzhanov Zhassulan Bulatovich – 2nd year PhD student, “8D05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., e- mail: zhassulankru@gmail.com.

ХТАР 87.19.00; 68.33.29

ӨОЖ 550.4:631.4(574.22)

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621167>

ДЕНИСОВ АУДАНЫНЫҢ (ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫ) АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ТОПЫРАҚТАРЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ ЖЫЛЖЫМАЛЫ ТҮРЛЕРІНІҢ МӨЛШЕРІН ІСР-OES ӘДІСІМЕН БАҒАЛАУ

Нугманов А.Б. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, ауыл шаруашылығы ғылымдары факультетінің деканы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Ысқақ А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Муканов Т.М.* – биология мамандығы бойынша жаратылыстану ғылымдарының магистрі. «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Дәулеткелді Г.Н. – «7М01503 Химия» БББ бағдарламасының 1 курс магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы.

Индуктивті байланысқан плазмамен оптикалық-эмиссиялық спектрометрия (ICP-OES) әдісімен элементтердің жылжымалы түрлерінің мөлшерін анықтау негізінде Қазақстан Республикасы Қостанай облысы Денисов ауданының ауыл шаруашылығы топырақтарының геохимиялық және экологиялық жай-күйіне, оның ішінде олардың егістік горизонтындағы ауыр металдардың жылжымалы түрлерінің құрамын зерттеуге бағалау жасалды. Зерттеу барысында шамамен 932 га ауыл шаруашылығы алқабынан алынған топырақтың 0–25 см қабатындағы 38 аралас үлгі талданды. Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Fe және As металлоидының мөлшері анықталды. Топырақтағы элементтердің таралу өзгергіштігін бағалауға мүмкіндік беретін сипаттамалық статистиканың негізгі көрсеткіштері, соның ішінде концентрациялардың орташа мәндері, элементтер мөлшерінің диапазоны және вариация коэффициенті есептелді. Элементтердің орташа концентрациялары: As – 0,176 мг/кг, Zn – 0,662 мг/кг, Cd – 0,042 мг/кг, Pb – 0,253 мг/кг, Ni – 3,357 мг/кг, Cr – 0,357 мг/кг, Fe – 25,89 мг/кг болды. Алынған нәтижелерді шекті рұқсат етілген концентрация (ШРК) нормативтерімен салыстыру ауыр металдардың жылжымалы түрлерінің мөлшері белгіленген санитарлық-гигиеналық нормативтерден аспайтынын көрсетті; тек жалпы мөлшері бойынша нормаланатын As, Pb және Cd үшін салыстыру бағдарлы сипатта болады. Алынған мәліметтер зерттелетін аумақтың ауыл шаруашылығы топырақтарының геохимиялық жағдайының қолайлы екендігін көрсетеді, Солтүстік Қазақстанның далалық топырақтары үшін фондық көрсеткіштер ретінде пайдаланылуы мүмкін және өңірлік экологиялық мониторингтің негізі ретінде бола алады.

Түйінді сөздер: ауыр металдар, шекті рұқсат етілген концентрациялар, фондық концентрациялар, ауыл шаруашылығы топырақтары, ICP-OES, топырақтың геохимиялық жағдайы, экологиялық бағалау.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВАХ ДЕНИСОВСКОГО РАЙОНА (КОСТАНАЙСКАЯ ОБЛАСТЬ) МЕТОДОМ ІСР-OES

Нугманов А.Б. – к.с.-х.н., декан факультета сельскохозяйственных наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Ысқақ А. – к.с.-х.н., директор научно-исследовательского института инновационных технологий, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Муқанов Т.М.* – магистр естественных наук по специальности биология, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Дәулеткелді Г.Н. – магистрант 1 курса ОП «7M01503 Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

На основе определения содержания подвижных форм элементов методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) дана оценка геохимического и экологического состояния сельскохозяйственных почв Денисовского района Костанайской области Республики Казахстан, включая исследование содержания подвижных форм тяжёлых металлов в их пахотном горизонте. В ходе исследования проанализировано 38 смешанных образцов почвенного слоя 0–25 см, отобранных на участке сельскохозяйственных угодий площадью около 932 га. Определено содержание Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Fe и металлоида As. Рассчитаны основные показатели описательной статистики, включая средние значения концентраций, диапазон содержания элементов и коэффициент вариации, позволяющие оценить степень изменчивости их распределения в почвах. Средние концентрации элементов составили: As – 0,176 мг/кг, Zn – 0,662 мг/кг, Cd – 0,042 мг/кг, Pb – 0,253 мг/кг, Ni – 3,357 мг/кг, Cr – 0,357 мг/кг, Fe – 25,89 мг/кг. Сопоставление полученных результатов с нормативами предельно допустимых концентраций показало, что содержание подвижных форм тяжёлых металлов не превышает установленных санитарно-гигиенических нормативов; для As, Pb и Cd, нормируемых только по валовому содержанию, сравнение носит ориентировочный характер. Полученные данные свидетельствуют о благоприятном геохимическом состоянии сельскохозяйственных почв исследуемой территории, могут служить фоновыми показателями для степных почв Северного Казахстана и использоваться как основа для регионального экологического мониторинга.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, предельно допустимые концентрации, фоновые концентрации, сельскохозяйственные почвы, ICP-OES, геохимическое состояние почв, экологическая оценка.

ASSESSMENT OF THE CONTENT OF MOBILE FORMS OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL SOILS OF DENISOVKA DISTRICT (KOSTANAY REGION) USING THE ICP-OES METHOD

Nugmanov A.B. – Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of agricultural sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Yskak A. – Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Innovative Technologies, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Mukanov T.M.* – Master of Natural Sciences (Biol.), Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Dauletkeydy G.N. – 1-st year Master's student, "7M01503 – Chemistry" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Based on the determination of the content of mobile forms of elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), the geochemical and ecological state of agricultural soils in the Denisovka district of the Kostanay region of the Republic of Kazakhstan is assessed, including the study of the content of mobile forms of heavy metals in their ploughed horizon. The study analyzed 38 mixed samples of 0-25 cm of soil layer selected on approximately 932 hectares of agricultural land. The content of Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Fe and As metalloid was determined. The main indicators of descriptive statistics, including the average values of concentrations, the range of content of elements and the coefficient of variation, are calculated, which makes it possible to assess the degree of variability of their distribution in the soil. Average concentration of elements: As – 0.176 mg/kg, Zn – 0.662 mg/kg, Cd – 0.042 mg/kg, Pb – 0.253 mg/kg, Ni – 3.357 mg/kg, Cr – 0.357 mg/kg, Fe – 25.89 mg/kg. Comparison of the results obtained with the maximum permissible concentration standards showed that the content of mobile forms of heavy metals does not exceed the established sanitary and hygienic standards; for As, Pb, and Cd, which are regulated only for total content, the comparison is indicative. The obtained data testify to the favorable geochemical state of agricultural soils of the studied territory, can serve as background indicators for steppe soils of Northern Kazakhstan and can be used as a basis for regional environmental monitoring.

Keywords: heavy metals, maximum permissible concentrations, background concentrations, agricultural soils, ICP-OES, geochemical state of soils, environmental assessment.

Қысқашы Топырақ жамылғысының ауыр металдармен және уытты элементтермен ластануы қазіргі заманның ең өзекті экологиялық мәселелерінің бірі болып табылады. Ауыр металдар тұрақты ластанушы заттарға жатады, яғни олар биологиялық жолмен ыдырамайды және топырақта ұзақ уақыт жинақталуға қабілетті, соның нәтижесінде топырақ-өсімдік жүйесін бұзып, экожүйелерге теріс әсер етеді [1, 995 б.], [2, 85 б.]. Ауыр металдар мен металлоидтар өздерінің уыттылығы, тұрақтылығы және трофикалық тізбектердегі биоаккумуляция қабілетіне байланысты елеулі экологиялық қауіп төндіреді [3, 796 б.].

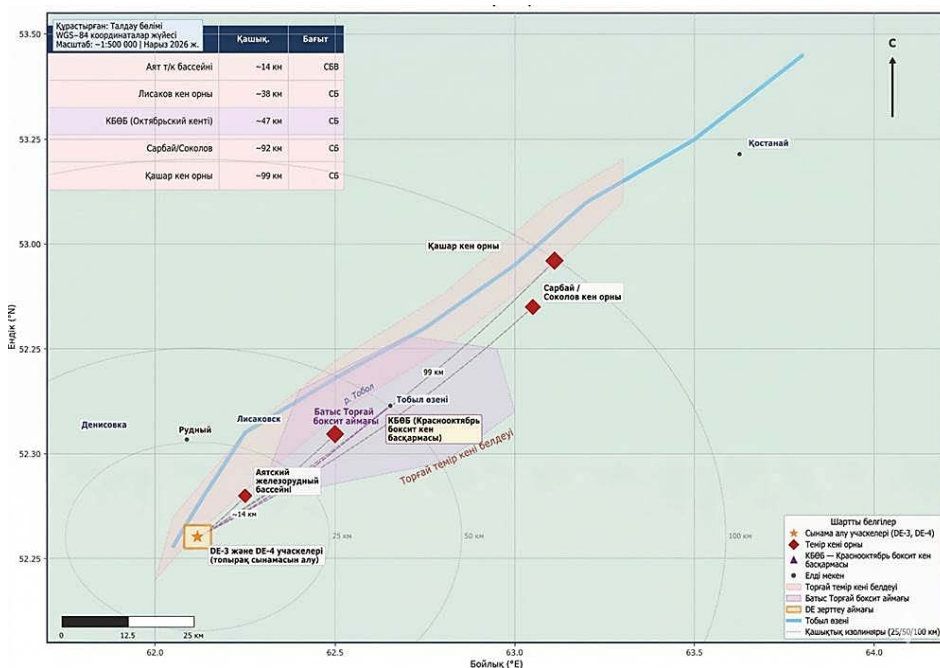
Бұл мәселенің жаһандық сипаты өнеркәсіп өндірісінің қарқынды дамуымен, көлік инфрақұрылымының дамуымен және ауыл шаруашылығы қызметінің ұлғаюымен байланысты, бұл әлемнің әртүрлі өңірлері топырақтарында кадмий, қорғасын, мышьяк және мырыш сияқты элементтердің концентрациясының тұрақты өсуіне әкеледі [4, 63 б.].

Антропогендік жүктемесі жүйелі әрі ұзақ мерзімді сипатқа ие агроөнеркәсіптік өңірлер топырақтарының ластануы ерекше экологиялық маңызға ие. Минералдық тыңайтқыштарды, пестицидтер және гербицидтерді қолдану, сондай-ақ ластанған суармалы суларды пайдалану ауыр металдардың топыраққа түсуінің негізгі көздері болып табылады [5, 5 б.]. Топырақтың жоғарғы қабаттарында жинақтала отырып, бұл элементтер табиғи биогеохимиялық циклдерді бұзады, топырақ микробиотасын тежейді және топырақтың биологиялық белсенділігін төмендетеді, бұл түптеп келгенде жер ресурстарының деградациясына әкеледі [6, 250 б.]. Ландшафттардың геохимиялық ерекшеліктері табиғи және техногендік жүйелердегі ауыр металдардың таралуы мен миграциясында шешуші рөл атқарады [7, 286 б.].

Қазақстан Республикасы елеулі жер-ресурстық әлеуетке ие бола отырып, ауыл шаруашылығы алқаптарының экологиялық жай-күйіне байланысты күшейіп келе жатқан проблемамен бетпе-бет келуде. Зерттеулер Қазақстан топырақтарының геохимиялық жағдайлары табиғи және антропогендік факторларға байланысты едәуір өзгеретінін көрсетеді [8, 10 б.; 9, 2 б.]. Топырақ жамылғысының ауыр металдармен ластану қаупін бағалау Қазақстанның қалалық аумақтар үшін де [10, 5 б.], агроөнеркәсіптік өңірлері үшін де жүргізілген [11, 2-7 б.]. Республикадағы дала экосистемалері ауыр металдардың жиналуына бейім, бұл елдің әртүрлі өңірлерінде жүргізілген геохимиялық зерттеулер нәтижелерімен расталады [12, 7 б.].

Қазақстанның негізгі астықты өңірлерінің бірі болып табылатын Қостанай облысы дала аймағына тән қара топырақтар мен қарақоңыр топырақтардың басымдығымен сипатталады [13, 315 б.]. Қолда бар деректер бойынша, Қостанай облысының жекелеген аудандарында негізінен As, Cd, Pb және Zn қосылыстарымен байланысты топырақтың экологиялық ластануының жоғары деңгейі тіркеледі. Денисов ауданы өсімдік және мал шаруашылығы дамыған типтік агроөнеркәсіптік өңір болып табылады, мұнда ауыл шаруашылығында ұзақ жылдар бойы пайдаланылу жергілікті геохимиялық ауытқулардың қалыптасуына жағдай жасайды. Ұқсас өңірлерде ауыр металдардың таралуын кеңістіктік талдау олардың жинақталуының біркелкі емес сипатын көрсетеді, бұл табиғи геохимиялық факторлармен де, антропогендік ластану көздерімен де байланысты [14, 15 б.].

Қостанай облысының топырақтары туралы жалпы мәліметтердің болуына қарамастан, Денисов ауданы аумағында заманауи жоғарғы сезімтал әдістерді (ICP-OES) қолдана отырып жүргізілген егжей-тегжейлі геохимиялық зерттеулер бұрын жүргізілмеген. Ауыр металдардың құрамы туралы өзекті деректердің болмауы ауыл шаруашылығы өнім өндіру үшін пайдаланылатын топырақтардың экологиялық жай-күйін объективті бағалауға мүмкіндік бермейді. Мұндай зерттеулердің маңыздылығын Аят темір кені бассейнінің, Лисаков, Соколов-Сарыбай және Қашар темір кені орындарының, сондай-ақ техногендік ластанудың әлеуетті көздері бола алатын Краснооктябрь боксит кен басқармасының жақын орналасуы ерекше маңызға ие (1-сурет). Осыған байланысты Денисов ауданы топырақтарына кешенді геохимиялық зерттеу жүргізу өзекті және ғылыми тұрғыдан негізделген болып табылады.



1 сурет — Геоологиялық шолу картасы. Денисов ауданының темір және боксит кен орындары және топырақты геохимиялық сынау учаскелері

Зерттеудің мақсаты – ICP-OES әдісі арқылы ауыр металдардың жылжымалы түрлерінің мөлшерін анықтау негізінде Қостанай облысы Денисов ауданының ауыл шаруашылығы топырақтарының геохимиялық және экологиялық жай-күйін бағалау.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Қостанай облысы Денисов ауданының ауыл шаруашылығы топырақтарында ауыр металдардың жылжымалы түрлерінің таралуы туралы жаңа өңірлік геохимиялық деректерді индуктивті байланысқан плазмалы оптикалық-эмиссиялық спектрометрияның жоғары сезімтал әдісін (ICP-OES) қолдану арқылы алуда болып табылады. Бұрын жүргізілген, негізінен элементтердің жалпы мөлшерін анықтауға бағытталған зерттеулерден айырмашылығы, бұл жұмыста агроэкожүйелердегі металдардың биожетімділігі мен экологиялық қауіптілігін анықтайтын Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Fe және As элементтерінің дәл жылжымалы түрлеріне кешенді бағалау жүргізілді. Зерттелетін аумақ үшін алғаш рет ауыл шаруашылығы топырақтарының жырылатын қабатындағы (0-25 см) ауыр металдардың жылжымалы түрлері мөлшерінің кеңістіктік өзгергіштігіне статистикалық талдау жасалды, бұл олардың таралу заңдылықтарын анықтауға және агроландшафттардың геохимиялық әртектілік деңгейін бағалауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер топырақтың өңірлік экологиялық мониторингі үшін ғылыми негіз қалыптастырады және Солтүстік Қазақстанның ауыл шаруашылығы аумақтарын экологиялық қауіпсіздік жүйелерін әзірлеу мен тұрақты басқаруда пайдаланылуы мүмкін.

Мақсатқа жету үшін келесі **міндеттер** қойылды:

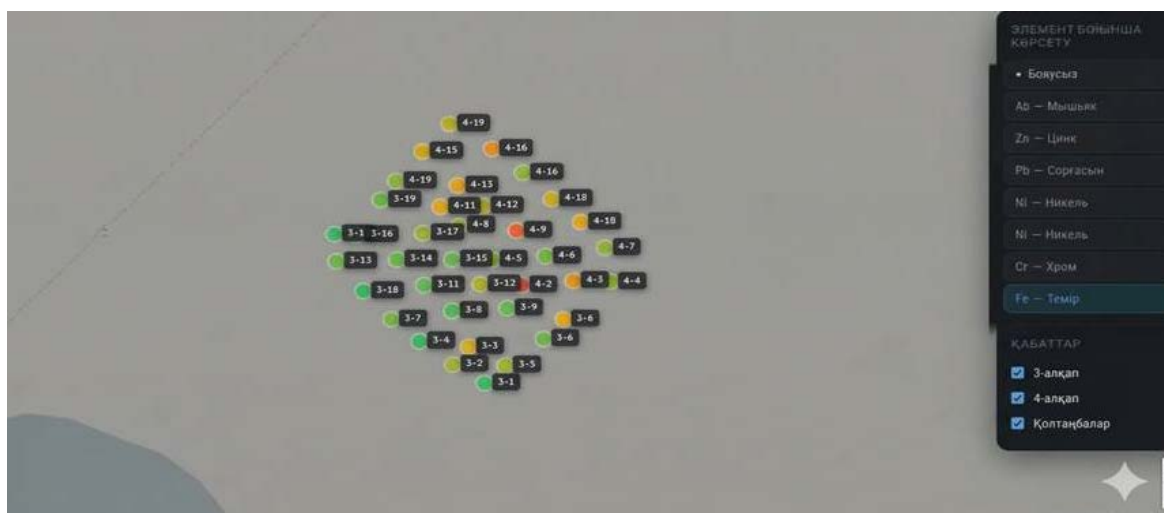
1. Зерттелетін аумақ топырақтарының жырылатын қабатындағы ауыр металдар мен мышьяк металлоидының (Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Fe, As) жылжымалы түрлерінің мөлшерін ICP-OES әдісімен анықтау.
2. Олардың мөлшерінің өзгергіштік көрсеткіштерін талдау негізінде ауыр металдардың таралу табиғатын (литогендік немесе антропогендік) бағалау.
3. Элементтердің жылжымалы түрлерінің алынған концентрацияларын ШРК нормативтерімен және өңірлік фондық мәндермен салыстыру негізінде зерттелетін аумақ топырақтарының жай-күйіне экологиялық жағдайына баға беру.

Зерттеу материалдары мен әдістері Зерттеу Қазақстан Республикасы Қостанай облысы Денисов ауданының ауыл шаруашылығы алқаптарында жүргізілді. Аудан аумағы далалық табиғи аймақта орналасқан және қара топырақтар мен қарақоңыр топырақтардың басым болуымен сипатталатын жазық жер бедеріне ие. Бұл топырақтар аграрлық өндірісте кеңінен пайдаланылады және өңірдің астық шаруашылығының негізін құрайды.

Аудан климаты шұғыл континенттік, қысы суық, жазы жылы әрі қуаң. Атмосфералық жауын-шашынның жылдық орташа мөлшері шамамен 300-350 мм құрайды. Топырақ ортасы негізінен бейтарап немесе әлсіз сілтілі, өңірдің қара топырақтары мен қарақоңыр топырақтарындағы рН мәндері 6,5-8,2 аралығында өзгереді[11], бұл химиялық элементтердің миграциясы мен жылжымалылығына елеулі әсер етеді.

Зерттелетін ауыл шаруашылығы алқабы шамамен 932 га аумақты қамтитын біртұтас агроландшафтық массив шегінде орналасқан және салыстырмалы түрде біркелкі топырақ-геоморфологиялық жағдайлармен сипатталады.

Топырақ сынамаларын іріктеу 2025 жылдың мамыр айында зерттелетін учаскенің ауыл шаруашылығы алқаптарында жүргізілді. Барлығы топырақтың жырылатын (0-25 см) 38 аралас үлгі алынды. Сынамаларды іріктеу сызбасы 2-суретте көрсетілген.



2 сурет – Денисов ауданы аумағындағы зерттеу ауданы мен егістік қабаттан (0–25 см) сынама алу нүктелерінің карта-сызбасы (учаске ауданы 932 га)

Сынамаларды іріктеу нормативтік құжаттардың талаптарына сәйкес жүргізілді: MEMCT 17.4.3.01-2017 «Табиғатты қорғау. Топырақтар. Сынамаларды іріктеуге қойылатын жалпы талаптар». Әрбір

аралас үлгі бір элементарлық учаскеден конверт әдісімен алынған 5-10 нүктелік сынамаларды біріктіру арқылы қалыптастырылды. Біріктірілген сынаманың массасы кемінде 1 кг болды [15].

Алынған үлгілер герметикалық контейнерлерге салынып, сынама алу орны мен күні көрсетіліп таңбаланды, содан кейін әрі қарай талдау жүргізу үшін зертханаға жеткізілді.

Топырақ үлгілерін зертханалық дайындау бөлме температурасында ауада құрғатып кептіруді, өсімдік қалдықтары мен бөгде қоспаларды алып тастауды, сондай-ақ ұсақтау мен ұяшық өлшемі 1 мм електен өткізуді қамтыды.

Элементтердің жылжымалы формаларын алу үшін рН 4,8 болатын ацетатты-аммоний буферлік ерітіндісі пайдаланылды. Экстрагент ретінде рН 4,8 ацетатты-аммонийлі буферлік ерітіндіні таңдау топырақтағы химиялық элементтердің жылжымалы (белсенді) қорын бағалау қажеттілігімен негізделді. Химиялық тұрғыдан алғанда, бұл реагент суда еритін қосылыстарды ғана емес, сонымен қатар топырақ коллоидтарының бетінде ұсталып тұратын алмаспалы катиондардың ең жылжымалы бөлігін де бөліп алуға мүмкіндік береді. Өлсіз қышқылды буферді (рН = 4,8) қолдану физиологиялық тұрғыдан негізделген, өйткені мұндай орта элементтерді сіңірілетін күйге көшіру үшін өсімдіктер бөлетін тамыр экссудаттарының (органикалық қышқылдар) әсерін модельдейді.

Осылайша, алынған нәтижелер ауыр металдардың биожетімді түрлерін сипаттайды, бұл экологиялық тәуекелдерді бағалау және токсиканттардың ауыл шаруашылығы өнімдерінде ықтимал жинақталуын анықтау үшін шешуші мәнге ие. Бұл әдісті қолдану әсіресе Солтүстік Қазақстанның қара топырақтары мен қарақоңыр топырақтары үшін ерекше өзекті, өйткені металдардың жалпы мөлшері минералогиялық құрамға байланысты жоғары болуы мүмкін, алайда олардың нақты уыттылығы топырақ ерітіндісіндегі жылжымалылық дәрежесімен анықталады. Экстракция топырақ:ерітінді=1:5 арақатынасында жүргізілді. Алынған суспензия бөлме температурасында орбитальды шейкерде 60 минут бойы араластырылды. Осыдан кейін суспензия "қызыл лента" типті қағаз сүзгілер арқылы сүзілді. Алынған сүзінділер кейінгі элементтік талдау үшін пайдаланылды.

Айта кету керек, ацетатты-аммонийлі буферді пайдалана отырып мышьяқтың жылжымалы түрлерін анықтаудың белгілі бір аналитикалық шектеулері бар. Топырақта As темір-марганец оксидтері мен гидроксидтерінің бетінде берік адсорбцияланады, ал бұл байланыстар рН 4,8 кезінде толық бұзылмайды. Осыған байланысты жылжымалы As концентрациясының алынған мәндері элементтің нақты қол жетімді фракциясының тек бір бөлігін ғана көрсете алады. Дегенмен, нәтижелер оның зерттелетін топырақтағы биожетімділігінің төменгі шегін бағалауға мүмкіндік береді.

Элементтердің жылжымалы формаларының (Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Fe және As) мөлшерін анықтау Thermo Fisher Scientific iCAP PRO (Thermo Fisher Scientific, АҚШ) құралында индуктивті байланысқан плазмалық оптикалық-эмиссиялық спектрометрия (ICP-OES) әдісімен жүргізілді. ICP-OES әдісі концентрацияның кең ауқымында бірнеше элементті бір мезгілде жоғары сезімталдықпен дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Элементтерді анықтау келесі аналитикалық сызықтар бойынша жүргізілді: As – 189,0 нм; Zn – 206,2 нм; Cd – 214,4 нм; Pb – 220,4 нм; Ni – 231,6 нм; Cr – 267,7 нм; Fe – 275,6 нм. Құрылғыны калибрлеу көпэлементті стандартты ерітінділерді қолдану арқылы жүзеге асырылды. ICP-OES әдісімен сүзінділерді талдау сүзу жүргізілген күні орындалды.

Нәтижелер және оларды талқылау. Зерттеу нәтижесінде Денисов ауданының зерттелетін учаскесіндегі ауылшаруашылық топырақтарының егістік қабатының (0-25 см) 38 аралас сынамасында ауыр металдар мен мышьяк металлоидының (Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Fe, As) жылжымалы формаларының мөлшері анықталды.

Алынған мәліметтер ықтимал улы элементтердің жылжымалы түрлерінің қазіргі деңгейін сипаттауға және кейінгі статистикалық өңдеу үшін деректер массивін қалыптастыруға мүмкіндік берді.

Алынған концентрацияларды бастапқы талдау элементтердің орташа мөлшері (1-кесте) келесі кемімелі қатар түзетінін көрсетті: Fe (25,89 мг/кг) > Ni (3,36 мг / кг) > Zn (0,66 мг / кг) > Cr (0,36 мг/кг) > Pb (0,25 мг/кг) > As (0,18 мг/кг) > Cd (0,04 мг/кг).

Зерттелген элементтер ішінде ең жоғары орташа концентрациялар темірге тән болды, бұл оның топырақ түзуші жыныстарда табиғи түрде кең таралуымен және топырақ-геохимиялық үдерістерге белсенді қатысуымен түсіндіріледі. Ең төмен мәндер кадмий үшін тіркелді, бұл айқын техногендік әсер болмаған жағдайда дала аймағының ауылшаруашылық топырақтарына тән. Концентрациялардың өзгеру ауқымы (минимум–максимум) зерттелетін учаске шегінде элементтердің таралуының кеңістіктік әркелкілігін көрсетеді.

Нәтижелерді бастапқы түсіндіру және екінші міндетке көшу үшін сипаттамалық статистиканың негізгі көрсеткіштері есептелді. Оларға концентрациялардың ең төмен және ең жоғарғы мәндері, элементтердің орташа мөлшері, медиана, стандартты ауытқу, вариация коэффициенті және таралу асимметриясының көрсеткіштері жатады. Бұл параметрлер топырақтағы элементтердің жалпы мөлшер деңгейін, сондай-ақ олардың зерттелетін жиынтық шегіндегі өзгергіштік дәрежесін бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттелген топырақтардағы элементтердің жылжымалы формалары мөлшерінің жиынтық статистикалық сипаттамалары 1-кестеде келтірілген.

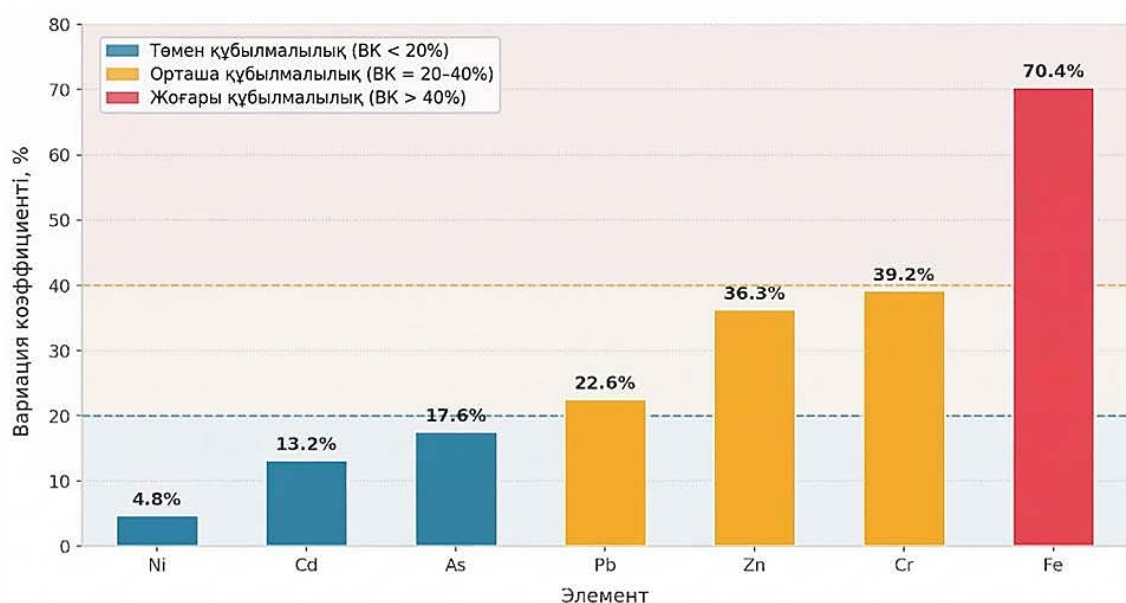
1 кесте – Элементтердің жылжымалы формалары мөлшерінің сипаттамалық статистикасы, мг/кг (n=38)

Элементтер	Өлшем бірлігі	Минимум	Максимум	Орташа	Медиана	Ст. ауытқуы.	Вар. коэф. %	Асимметрия
As (Күшән)	мг/кг	0,0992	0,2328	0,1760	0,1797	0,0310	17,62	-0,67
Zn (Мырыш)	мг/кг	0,2350	1,2856	0,6619	0,6363	0,2404	36,31	0,51
Cd (Кадмий)	мг/кг	0,0305	0,0521	0,0416	0,0411	0,0055	13,24	0,09
Pb (Қорғасын)	мг/кг	0,0866	0,3423	0,2527	0,2529	0,0570	22,57	-0,44
Ni (Никель)	мг/кг	3,0866	3,8241	3,3568	3,3384	0,1607	4,79	0,77
Cr (Хром)	мг/кг	0,1430	0,7405	0,3567	0,3272	0,1397	39,18	0,88
Fe (Темір)	мг/кг	5,7634	93,9251	25,8932	20,8099	18,2355	70,43	2,02

Алынған деректерді талдау зерттелетін аумақ топырақтарындағы зерттелген элементтердің жылжымалы формаларының мөлшері жеткілікті кең аралықта өзгертінін көрсетті, бұл топырақ жамылғысының табиғи геохимиялық әркелкілігін көрсетеді. Элементтердің жылжымалы формаларының орташа концентрациясы: As – 0,176 мг/кг, Zn – 0,662 мг/кг, Cd – 0,042 мг/кг, Pb – 0,253 мг/кг, Ni – 3,357 мг/кг, Cr – 0,357 мг / кг, Fe – 25,89 мг / кг. Алынған мәндер зерттелетін ауылшаруашылық топырақтарының егістік қабатындағы ықтимал улы элементтердің жалпы мөлшер деңгейін сипаттайды.

Элементтер концентрацияларының ауытқу ауқымы да олардың өзгергіштік дәрежесінің әртүрлі екенін көрсетеді. Тиісінше ең төмен және ең жоғары мәндер мыналарды құрады: As – 0,099–0,233 мг/кг, Zn – 0,235–1,286 мг/кг, Cd – 0,031–0,052 мг/кг, Pb – 0,087–0,342 мг/кг, Ni – 3,087–3,824 мг/кг, Cr – 0,143–0,741 мг/кг, Fe – 5,76–93,93 мг/кг.

Зерттелетін аумақ топырақтарындағы элементтер мөлшерінің өзгергіштік дәрежесін бағалау үшін вариация коэффициенті (ВК) талданды, оның мәндері 1-кестеде келтірілген. Бұл көрсеткіш геохимиялық зерттеулерде табиғи ортадағы химиялық элементтердің таралуының кеңістіктік әркелкілігін сипаттау үшін қолданылады. Алынған деректерге сәйкес (3-сурет) зерттелген элементтерді олардың мөлшерінің өзгергіштік дәрежесі бойынша шартты түрде бірнеше топқа бөлуге болады.



3 сурет – Топырақтағы элементтердің жылжымалы формалары мөлшерінің вариация коэффициенттері

Өзгергіштігі төмен элементтерге (ВК < 20%) Ni (4,8%), Cd (13,2%) және As (17,6%) жатады. Вариация коэффициентінің төмен мәндері бұл элементтердің зерттелетін аумақ шегінде салыстырмалы түрде біркелкі таралғанын көрсетеді және олардың басым түрде табиғи, литогендік шығу тегін айғақтайды. Әдетте, мұндай таралу топырақ түзуші жыныстардың минералдық құрамымен бақыланатын элементтерге тән.

Орташа өзгергіштік (ВК = 20-40%) Pb (22,6%), Zn (36,3%) және Cr (39,2%) үшін тән. Бұл элементтердің өзгергіштігінің жоғарылауы олардың топырақ компоненттерімен, ең алдымен сазды минералдармен және органикалық заттармен сорбциялану ерекшеліктерімен, сондай-ақ микроландшафтық жағдайлардағы айырмашылықтармен байланысты болуы мүмкін.

Ең жоғары өзгергіштік дәрежесі темірге тән ($ВК = 70,4\%$). Топырақтағы Fe мөлшерінің едәуір өзгергіштігі оның тотығу-тотықсыздану үдерістерімен, гидроморфизммен және топырақтардың гранулометриялық құрамындағы жергілікті айырмашылықтармен байланысты миграциясы мен жинақталу ерекшеліктеріне байланысты болуы мүмкін.

Осылайша, вариация коэффициентін талдау зерттелетін аумақ топырақтарындағы элементтердің таралуы жалпы алғанда табиғи геохимиялық факторлармен анықталатынын және айқын техногендік аномалиялардың бар екенін көрсетпейтінін көрсетті. Зерттелетін аумақтың топырақтарының экологиялық жағдайын бағалау үшін элементтердің жылжымалы формаларының алынған концентрациялары Қазақстан Республикасында топырақ жамылғысы үшін белгіленген шекті рұқсат етілген концентрациялар (ШРК) нормативтерімен салыстырылды [16 7 б.].

Бұл жұмыста анықталған концентрациялардың ацетатты-аммонийлі буферімен ($PH 4,8$) бөлініп алынған элементтердің жылжымалы (биожетімді) фракциясын сипаттайтыны ерекше маңызды. Токсикологиялық тұрғыдан алғанда, бұл ең ақпаратты көрсеткіш болып табылады, өйткені дәл жылжымалы формалар өсімдіктердің тамыр жүйесі арқылы сіңіріліп, топырақ ерітіндісіне миграцияланып, тірі ағзаларға тікелей әсер ете алады. Құрамына берік байланысқан және минералдық формалар кіретін элементтердің жалпы мөлшерін жалпы геохимиялық фонды көрсетеді, бірақ қысқа мерзімді перспективада нақты экологиялық қауіпті айқындамайды.

Ерекше назар никельге аударылуы тиіс, себебі оның орташа концентрациясы ($3,36 \text{ мг/кг}$) зерттелген барлық элементтердің ішінде белгіленген ШРК нормативіне ($4,0 \text{ мг/кг}$) барынша жақын болып табылады (2-кесте). Бұл ретте тіркелген ең жоғарғы мәні ($3,82 \text{ мг/кг}$) шекті рұқсат етілген концентрациясының шамамен 95% құрайды. Алайда никельдің вариация коэффициентінің өте төмен болуы ($4,8\%$) оның топырақта біркелкі таралғанын және басым түрде литогендік шығу тегін көрсетеді. Бұл ықтимал Қостанай облысының темір кені кен орындарына іргелес жатқан аумақтарға тән топырақ түзуші жыныстардың минералдық құрамымен байланысты. Осы аумақ топырақтарындағы никель мөлшерін жүйелі бақылау алдағы экологиялық бағалау үшін маңызды. Қорғасынның ($0,25 \text{ мг/кг}$) және күшәннің ($0,18 \text{ мг/кг}$) концентрациялары да осы элементтердің топырақтағы жалпы мөлшері үшін белгіленген шекті рұқсат етілген концентрациядан едәуір төмен. Кадмийдің мөлшері ($0,04 \text{ мг / кг}$) өте төмен деңгейде анықталды және экологиялық қауіп тудырмайды.

Темір концентрацияларының едәуір кең ауқымда өзгеруі ($5,76\text{--}93,93 \text{ мг/кг}$) және вариация коэффициентінің жоғарғы болуы ($70,4\%$) зерттелетін ауданның географиялық орналасуымен ішінара түсіндірілуі мүмкін. Денисов ауданы Қостанай облысының ірі темір кені бассейндеріне – Аят, Лисаков, Соколов-Сарыбай және Қашар кен орындарына тікелей жақын орналасқан. Темірдің аномальды жоғары мөлшері анықталған сынамалар, болжам бойынша, кендік геохимиялық Аянның ықпалы күшейген учаскелерге сәйкес келеді. Бұл аталған нысандарға қатысты сынама алу нүктелерінің орналасуын ескере отырып, кеңістіктік талдауды одан әрі жүргізуді талап етеді.

Темір топырақ түзуші жыныстарда кең таралған элементтердің қатарына жатады және санитарлық-гигиеналық нормативтер бойынша нормаланбайтынын атап өту керек. Жекелеген сынамалардағы темірдің жоғары мәндері топырақтың минералдық құрамының ерекшеліктерімен және жергілікті геохимиялық жағдайлармен байланысты болуы мүмкін. Хром ҚР-сының қолданыстағы санитарлық қағидаларында жылжымалы формалар үшін нормаланатын элементтер тізбесіне енгізілмеген. Жылжымалы хромның алынған төмен концентрациялары кезінде (орташа мәні $0,36 \text{ мг/кг}$, ең жоғарысы $0,74 \text{ мг/кг}$) экологиялық тәуекел минималды деп бағаланады.

Осылайша, алынған нәтижелер зерттелетін аумақтағы ауылшаруашылық топырақтарының геохимиялық жай-күйінің қолайлы екенін және ауыр металдармен техногендік ластану белгілерінің жоқтығын көрсетеді. Айта кету қажет, As, Pb және Cd үшін нормативтер тек жалпы мөлшерге қатысты белгіленген, сондықтан олармен салыстыру бағдарлық сипатқа ие. Соған қарамастан, концентрациялардың төмен мәндері ластанудың жоқ екенін көрсетеді.

2 кесте – Элементтердің жылжымалы формалары мөлшерінің ШРК нормативтерімен салыстырылуы, мг/кг

Элементтер	Орташа мөлшері	ШРК	Норматив түрі	Сәйкестігі
Никель (Ni)	3,36	4,0	жылжымалы	аспайды
Мырыш (Zn)	0,66	23,0	жылжымалы	айтарлықтай төмен
Күшән (As)	0,18	2,0	жалпы*	айтарлықтай төмен
Қорғасын (Pb)	0,25	32,0	жалпы*	айтарлықтай төмен
Кадмий (Cd)	0,04	3,0	жалпы*	айтарлықтай төмен
Хром (Cr)	0,36	6,0**	жылжымалы	аспайды
Темір (Fe)	25,89	--	--	нормаланбайды***

Ескерту: * – As, Pb және Cd үшін нормативтер тек жалпы мөлшері бойынша белгіленген

** ГН 2.1.7.2041-06 (РФ) бойынша; ҚР-да хромның жылжымалы формасы үшін норматив белгіленбеген [17].

*** Fe үшін ҚР мен РФ-да жылжымалы нысандағы нормативтер жоқ

Алынған нәтижелер зерттелетін аумақ топырақтарының егістік қабатындағы зерттелген ауыр металдардың жылжымалы формаларының мөлшері төмен деңгейде екенін және белгіленген нормативтік мәндерден аспайтынын көрсетеді. Бұл зерттелетін аумақтың топырақ жамылғысына айқын техногендік әсердің жоқ екенін білдіреді.

Кадмий, қорғасын және күшән сияқты элементтердің жылжымалы формаларының төмен концентрациялары ауылшаруашылық топырақтарының қолайлы экологиялық жағдайын және олардың өсімдіктерге өту қаупінің минималды екенін көрсетеді. Белгілі болғандай, элементтердің дәл осы жылжымалы формалары олардың биожетімділік дәрежесін және ықтимал экологиялық қауіптілігін айқындайды. Бұл зерттелетін топырақтарды геохимиялық тұрғыдан қолайлы және ауылшаруашылық мақсатта одан әрі пайдалануға жарамды деп қарастыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, жүргізілген зерттеу нәтижелері зерттелетін агроландшафт топырақтарының геохимиялық жай-күйі қазіргі уақытта негізінен табиғи топырақ түзілу факторларымен анықталатынын және ауыр металдармен ластану белгілерін көрсетпейтінін растайды.

Қорытынды. Қостанай облысы Денисов ауданының ауылшаруашылық топырақтарының егістік қабатындағы ауыр металдардың жылжымалы формаларының мөлшерін ICP-OES әдісімен зерттеу зерттелетін ауылшаруашылық алқаптары топырақтарының геохимиялық жай-күйінің ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді. Зерттелетін аумақ топырақтарының егістік қабатында ауыр металдар мен күшән металлоидының (Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, Fe, As) жылжымалы формаларының концентрациялары анықталды. Олардың орташа мәндері мыналарды құрады: As – 0,176 мг/кг, Zn – 0,662 мг/кг, Cd – 0,042 мг/кг, Pb – 0,253 мг/кг, Ni – 3,357 мг/кг, Cr – 0,357 мг/кг, Fe – 25,89 мг/кг.

Зерттелетін учаске топырақтарындағы элементтер мөлшерінің өзгергіштік дәрежесі әртүрлі екені анықталды. Ең төмен өзгергіштік Ni, Cd және As үшін тән болды (BK < 20 %), бұл олардың мөлшерінің негізінен табиғи факторлармен бақыланатынын көрсетеді. Орташа өзгергіштік Pb, Zn және Cr үшін байқалды, ал темір топырақ ортасындағы миграциясы мен жинақталу ерекшеліктеріне байланысты жоғары өзгергіштік дәрежесімен сипатталды (BK > 40 %).

Алынған концентрацияларды шекті жол берілетін концентрациялар нормативтерімен салыстыру зерттелген элементтердің жылжымалы формаларының мөлшері Қазақстан Республикасында белгіленген санитариялық-гигиеналық нормативтерден аспайтынын көрсетті. Бұл топырақтардың ауыр металдармен техногендік ластануының жоқ екенін дәлелдейді.

Ерекше назар никельге аударылады, оның ең жоғары мөлшері (3,82 мг/кг) белгіленген ШРК нормативінің (4,0 мг/кг) шамамен 95%-ына жетеді, бұл негізінен литогендік факторлармен түсіндіріледі. Осы аумақ топырақтарындағы никель мөлшеріне жүйелі мониторинг жүргізу мақсатқа сай деп есептеледі.

Қаржыландыру бойынша ақпарат. Зерттеу жұмыстары 2024 жылы Ахмет Байтұрсынұлы атындағы ҚӨУ-де 2024-2026 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыру аясында BR24992839 «Қостанай облысының ауыл шаруашылығы жерлері мен өнімдеріне экотоксиканттар мен инновациялық агротехнологиялардың әсерін зерттеу» тақырыбындағы жобасы негізінде жүзеге асырылды.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Il'in V.B. Heavy metals in the soil-crop system [Text] / V.B. Il'in // Eurasian Soil Science. – 2007. – Vol. 40. – P. 993-999. DOI: 10.1134/S1064229307090104.
2. Водяницкий Ю.Н. Топырақтағы ауыр металдар мен металлоидтар [Мәтін] / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ В.В. Докучаев атындағы Топырақтану институты РАСХН, 2008. – 164 б.
3. Водяницкий Ю.Н. Топырақтардың ауыр металдармен және металлоидтармен ластануы және олардың экологиялық қауіптілігі (аналитикалық шолу) [Мәтін] / Ю.Н. Водяницкий // Топырақтану. – 2013. – № 46(7). – Б. 793–801.
4. Wan Y. Heavy Metals in Agricultural Soils: Sources, Influencing Factors, and Remediation Strategies [Text] / Y. Wan, J. Liu, Z. Zhuang // Toxics. – 2024. – Vol. 12, № 1. – P. 63. DOI: 10.3390/toxics12010063.
5. Soleimani H. Ecological risk assessment and heavy metals accumulation in agriculture soils [Text] / H. Soleimani, B. Mansouri, A. Kiani // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, № 3. – e14580. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14580.
6. Глазовская М.А. КСРО табиғи және техногендік ландшафттарының геохимиясы [Мәтін] / М.А. Глазовская. – М.: Жоғары мектеп, 1988. – 328 б.
7. Перельман А.И. Ландшафт геохимиясы [Мәтін] / А.И. Перельман. – М.: Жоғары мектеп, 1975. – 342 б.
8. Kakabayev A.A. Impact of Environmental Conditions on Soil Geochemistry in Southern Kazakhstan [Text] / A.A. Kakabayev, B.U. Sharipova, N.V. Baranovskaya [т.б.] // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, № 15. – P. 6361. DOI: 10.3390/su16156361.

9. Yapiyev V. Top soil physical and chemical properties in Kazakhstan across a north-south gradient [Text] / V. Yapiyev, C.P. Gilman, T. Kabdullayeva // *Scientific Data*. – 2018. – Vol. 5. – P. 180242. DOI: 10.1038/sdata.2018.242.
10. Ramazanova E. Stochastic Risk Assessment of Urban Soils Contaminated by Heavy Metals in Kazakhstan [Text] / E. Ramazanova, S.H. Lee, W. Lee // *Science of the Total Environment*. – 2021. – Vol. 750. – P. 141535. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141535.
11. Zhyrgalova A. Assessment of Potential Ecological Risk of Heavy Metal Contamination of Agricultural Soils in Kazakhstan [Text] / A. Zhyrgalova, S. Yelemessov, B. Ablaihan [т.б.] // *Brazilian Journal of Biology*. – 2024. – Vol. 84. – e280583. DOI: 10.1590/1519-6984.280583.
12. Gataulina G. Ecological and Geochemical Characteristics of the Content of Heavy Metals in Steppe Ecosystems of the Akmola Region, Kazakhstan [Text] / G. Gataulina, Y. Mendybaev, N. Aikenova [т.б.] // *Sustainability*. – 2025. – Vol. 17, № 14. – P. 6576. DOI: 10.3390/su17146576.
13. Евстифеев Ю.Г. Қазақ КСР-нің топырақтары. 6-шығарылым. Қостанай облысы [Мәтін] / Ю.Г. Евстифеев. – Алма-Ата: Қаз КСР ҒА, 1966. – 416 б.
14. Chen L. Spatial and Temporal Distribution and Source Analysis of Heavy Metals in Agricultural Soils of Ningxia, Northwest of China [Text] / L. Chen, K. Ma // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15, № 21. – P. 15360. DOI: 10.3390/su152115360.
15. МЕСТ 17.4.3.01-2017. Табиғатты қорғау. Топырақтар. Үлгі алуға қойылатын жалпы талаптар. – М.: Стандартинформ, 2018.
16. Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрінің 2023 жылғы 13 қарашадағы № 156 бұйрығы «Топырақ сапасына қойылатын санитарлық-эпидемиологиялық талаптар» Санитарлық қағидаларын бекіту туралы».
17. ГН 2.1.7.2041-06 Гигиеналық нормативтер. Топырақтағы химиялық заттардың шекті рұқсат етілген концентрациялары (ШПК). – М.: Роспотребнадзордың гигиена және эпидемиология федералды орталығы, 2006.

REFERENCES:

1. Il'in V.B. Heavy metals in the soil-crop system. *Eurasian Soil Science*, 2007, vol. 40, pp. 993-999. DOI: 10.1134/S1064229307090104.
2. Vodyanickij Yu.N. Tyazhely'e metally' i metalloidy' v pochvah [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow, GNU Pochvenny'j institut im. V.V. Dokuchaeva RASHN, 2008. 164 p. (In Russian)
3. Vodyanickij Yu.N. Zagryaznenie pochv tyazhely'mi metallami i metalloidami i ih e'kologicheskaya opasnost' (analiticheskij obzor) [Contamination of soils with heavy metals and metalloids and their environmental hazard (analytical review)]. *Pochvovedenie*, 2013, vol. 46, no. 7, pp. 793-801. (In Russian)
4. Wan Y., Liu J., Zhuang Z., Wang Q., Li H. Heavy metals in agricultural soils: sources, influencing factors, and remediation strategies. *Toxics*, 2024, vol. 12, no. 1, art. 63. DOI: 10.3390/toxics12010063.
5. Soleimani H., Mansouri B., Kiani A., et al. Ecological risk assessment and heavy metals accumulation in agriculture soils. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 3, art. e14580. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14580.
6. Glazovskaya M.A. Geohimiya prirodn'yh i tehnogenny'h landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR]. Moscow, Vy'sshaya shkola, 1988, 328 p. (In Russian)
7. Perelman A.I. Geohimiya landshafta [Landscape geochemistry]. Moscow, Vy'sshaya shkola, 1975, 342 p. (In Russian)
8. Kakabayev A.A., Sharipova B.U., Baranovskaya N.V., et al. Impact of environmental conditions on soil geochemistry in Southern Kazakhstan. *Sustainability*, 2024, vol. 16, no. 15, art. 6361. DOI: 10.3390/su16156361.
9. Yapiyev V., Gilman C.P., Kabdullayeva T., et al. Top soil physical and chemical properties in Kazakhstan across a north-south gradient. *Scientific Data*, 2018, vol. 5, art. 180242. DOI: 10.1038/sdata.2018.242.
10. Ramazanova E., Lee S.H., Lee W. Stochastic risk assessment of urban soils contaminated by heavy metals in Kazakhstan. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 750, art. 141535. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141535.
11. Zhyrgalova A., Yelemessov S., Ablaihan B., Aitkhozhayeva G., Zhildikbayeva A. Assessment of potential ecological risk of heavy metal contamination of agricultural soils in Kazakhstan. *Brazilian Journal of Biology*, 2024, vol. 84, art. e280583. DOI: 10.1590/1519-6984.280583.
12. Gataulina G., Mendybaev Y., Aikenova N., et al. Ecological and geochemical characteristics of the content of heavy metals in steppe ecosystems of the Akmola region, Kazakhstan. *Sustainability*, 2025, vol. 17, no. 14, art. 6576. DOI: 10.3390/su17146576.
13. Evstifeev Yu.G. Pochvy' Kazakhskoj SSR. Vy'pusk 6. Kustanayskaya oblast' [Soils of the Kazakh SSR. Issue 6. Kustanai region]. Alma-Ata, Izd-vo AN KazSSR, 1966, 416 p. (In Russian)

14. Chen L., Ma K. Spatial and temporal distribution and source analysis of heavy metals in agricultural soils of Ningxia, Northwest of China. *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 21, art. 15360. DOI: 10.3390/su152115360.

15. MEST 17.4.3.01-2017. Tabigatty korghau. Topyraktar. Ylgi alugha qojylatatyn zhalpy talapttar [GOST 17.4.3.01-2017. Environmental Protection. Soils. General Sampling Requirements]. Date of implementation: 2018-06-01, Moscow, Standartinform, 2018, 16 p. (In Kazakh)

16. Kazakstan Respublikasy Densaulyk saktau ministrinin 2023 zhylygy 13 karashadadagy № 156 bujrygy «Topyrak sapasyna kojylatatyn sanitarlyk-epidemiologiyalyk talapttar» Sanitarlyk kaghidalaryn bekitu turaly [Order of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan No. 156 dated November 13, 2023. "On the approval of sanitary rules "Sanitary-epidemiological requirements for the quality of soil"]. 19 p. (In Kazakh)

17. GN 2.1.7.2041-06. Gigienicheskie normativy'. Predel'no dopustimy'e koncentracii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve [Hygienic Standards. Maximum permissible concentrations of chemical substances in soil]. Moscow, Federal'nyj centr gigieny' i e'pidemiologii Rospotrebnadzora, 2006. 27 p. (In Russian)

Авторлар туралы мәліметтер:

Нугманов Алмабек Батыржанович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ ауыл шаруашылығы ғылымдары факультетінің деканы, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, e-mail: almabek.nugmanov@bk.ru.

Ысқақ Алия – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, e-mail: alia-almaz@mail.ru.

Муканов Тамерлан Маратович* – биология мамандығы бойынша жаратылыстану ғылымдарының магистрі. «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, e-mail: tamerlan.mukanov@gmail.com.

Дәулеткелді Гүлнұр Нұрланқызы – «7М01503 Химия» БББ бағдарламасының 1 курс магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, e-mail: gulnuradauletkel@gmail.com.

Нугманов Алмабек Батыржанович – к.с.-х.н., декан факультета сельскохозяйственных наук НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, e-mail: almabek.nugmanov@bk.ru.

Ысқақ Алия – к.с.-х.н., директор научно-исследовательского института инновационных технологий НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, e-mail: alia-almaz@mail.ru.

Муканов Тамерлан Маратович* – магистр естественных наук по специальности биология, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, e-mail: tamerlan.mukanov@gmail.com.

Дәулеткелді Гүлнұр Нұрланқызы – магистрант 1 курса ОП «7М01503 Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, e-mail: gulnuradauletkel@gmail.com.

Nugmanov Almabek Batyrzhanovich – Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of agricultural sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., e- mails: almabek.nugmanov@bk.ru.

Yskak Aliya – Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Innovative Technologies, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., e- mails: alia-almaz@mail.ru.

Mukanov Tamerlan Maratovich* – Master of Natural Sciences (Biol.), Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., e-mails: tamerlan.mukanov@gmail.com.

Dauletkeldy Gulnur Nurlanovna – 1-st year Master's student, "7M01503 – Chemistry" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., e- mails: gulnuradauletkel@gmail.com.

МРНТИ 38.61.05: 38.61.27

УДК 004.42,556.3.04

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621177>

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ XGBoost, SHAP И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ БОКЕЙОРДИНСКОГО РАЙОНА ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Оңласынов Ж.Ә.* – PhD, заведующий лабораторией ГИС-технологий и ДЗЗ, Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан.

Шагарова Л.В. – кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института радиопизики и физической электроники, Омский научный центр СО РАН, г. Омск, Российская Федерация.

Абсаметов М.К. – доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан.

Муратова М.М. – ведущий инженер лаборатории ГИС-технологий и ДЗЗ, Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан.

В данном исследовании разработана модель машинного обучения для пространственного прогнозирования потенциала подземных вод с использованием классификатора XGBoost, обученного на 15 согласованных геопространственных предикторах, полученных из топографических, гидрологических, растительных и гидрогеологических наборов данных. В качестве обучающих выборок были использованы 202 скважины с измеренным расходом подземных вод, которые были преобразованы в категориальные классы продуктивности подземных вод.

Модель интегрирует растровые данные из нескольких источников, включая высоту, полученную из SRTM, индексы рельефа (наклон, TWI), меры гидрологического расстояния, сезонные индексы растительности и влажности (NDVI, NDWI, BSI), а также литологические и гидравлические свойства, полученные из GLHYMPS.

Интерпретируемость модели была оценена с помощью анализа SHAP для количественной оценки вклада каждого предиктора в оценки потенциала подземных вод. Кроме того, неопределенность прогнозирования была количественно оценена с использованием энтропии Шеннона вероятностей классов, что позволило идентифицировать зоны с низкой степенью достоверности, связанные с гидрогеологическими переходами.

Результаты показывают, что модель улавливает значимые пространственные закономерности потенциала подземных вод, несмотря на умеренную точность прогнозирования при пространственной валидации ($F1$ -мера $\approx 0,24$). Высокие значения неопределенности сосредоточены в структурно сложных и литологически неоднородных зонах.

Предложенная структура демонстрирует воспроизводимый и переносимый подход к интеграции машинного обучения и геопространственного анализа для картирования потенциала подземных вод в регионах с дефицитом данных.

Ключевые слова: картирование потенциала подземных вод; машинное обучение; подземные воды; дистанционное зондирование; сельское хозяйство.

XGBoost, SHAP ЖӘНЕ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ДЕРЕКТЕРІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ӘЛЕУЕТІН ГЕОКЕҢІСТІКТІК МОДЕЛЬДЕУ: БАТЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ БӨКЕЙОРДА АУДАНЫНЫҢ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРТТЕУ

Оңласынов Ж.Ә.* – PhD, ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының меңгерушісі, Ұ.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Шагарова Л.В. – Радиофизика және физикалық электроника институтының кіші ғылыми қызметкері, РАН СО Омбы ғылыми орталығы, Омбы қаласы, Ресей Федерациясы.

Абсаметов М.К. – геология-минералогия ғылымдарының докторы, профессор, Ө.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының директоры, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы.

Муратова М.М. – ЖҚЗ және ГАЖ технологиялары лабораториясының бас инженері, Ұ.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Бұл зерттеуде XGBoost классификаторын пайдаланып, жер асты суларының әлеуетін кеңістіктік болжауға арналған машиналық оқыту моделі жасалды, ол топографиялық, гидрологиялық, өсімдіктер және гидрогеологиялық деректер жиынтығынан алынған 15 тұрақты геокеңістіктік предикторларға үйретілді. Өлшенген жер асты суларының ағымы бар барлығы 202 ұңғыма жаттығы үлгілері ретінде пайдаланылды және жер асты суларының өнімділік кластарына айналдырылды.

Модель SRTM-ден алынған биіктік, жер бедері индекстері (көлбеу, TWI), гидрологиялық қашықтық өлшемдері, маусымдық өсімдіктер мен ылғал индекстері (NDVI, NDWI, BSI) және GLHYMPS-тен алынған литологиялық және гидравликалық қасиеттерді қоса алғанда, бірнеше көздерден алынған растрлық деректерді біріктіреді.

Модельдің түсіндірілуі әрбір предиктордың жер асты суларының әлеуетін бағалауға қосқан үлесін сандық бағалау үшін SHAP талдауын қолдану арқылы бағаланды. Сонымен қатар, болжам белгісіздігі гидрогеологиялық ауысулармен байланысты төмен сенімділік аймақтарын анықтауға мүмкіндік беретін кластық ықтималдықтардың Шеннон энтропиясын қолдану арқылы сандық түрде анықталды.

Нәтижелер кеңістіктік валидация кезінде орташа болжам дәлдігіне қарамастан ($F1$ ұпайы $\approx 0,24$), модель жер асты суларының әлеуетіндегі маңызды кеңістіктік үлгілерді көрсететінін көрсетеді. Жоғары белгісіздік мәндері құрылымдық тұрғыдан күрделі және литологиялық тұрғыдан гетерогенді аймақтарда шоғырланған.

Ұсынылған құрылым деректер жетіспейтін аймақтарда жер асты суларының әлеуетін картаға түсіру үшін машиналық оқыту мен геокеңістіктік талдауды біріктірудің қайталанатын және ауыстырылатын тәсілін көрсетеді.

Түйінді сөздер: жер асты суларының әлеуетін картаға түсіру; машиналық оқыту; жер асты сулары; қашықтықтан зондтау; ауыл шаруашылығы.

GEOSPATIAL MODELING OF GROUNDWATER POTENTIAL USING XGBoost, SHAP AND REMOTE SENSING DATA: A CASE STUDY OF THE BOKEYORDA DISTRICT OF WEST KAZAKHSTAN

Onlasyynov Zh.A.* – PhD, Head of the Laboratory of GIS Technologies and Remote Sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Shagarova L.V. – Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher, Institute of Radiophysics and Physical Electronics, Omsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Omsk, Russian Federation.

Absametov M.K. – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Director, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Muratova M.M. – Leading Engineer of the Laboratory of GIS technologies and Earth remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

In this study, a machine learning model for spatially predicting groundwater potential was developed using the XGBoost classifier, trained on 15 consistent geospatial predictors derived from topographic, hydrological, vegetation, and hydrogeological datasets. A total of 202 wells with measured groundwater discharge were used as training samples and converted into categorical groundwater productivity classes.

The model integrates raster data from multiple sources, including elevation derived from SRTM, terrain indices (slope, TWI), hydrological distance measures, seasonal vegetation and moisture indices (NDVI, NDWI, BSI), and lithological and hydraulic properties derived from GLHYMPS.

The interpretability of the model was assessed using SHAP analysis to quantify the contribution of each predictor to groundwater potential estimates. Furthermore, prediction uncertainty was quantified using the Shannon entropy of class probabilities, which enabled the identification of low-confidence zones associated with hydrogeological transitions.

The results show that the model captures significant spatial patterns in groundwater potential, despite moderate prediction accuracy during spatial validation ($F1$ score ≈ 0.24). High uncertainty values are concentrated in structurally complex and lithologically heterogeneous zones.

The proposed framework demonstrates a reproducible and transferable approach to integrating machine learning and geospatial analysis for mapping groundwater potential in data-deficient regions.

Keywords: groundwater potential mapping, machine learning, groundwater, remote sensing, agriculture.

Введение. За последние 5 лет исследования в области картирования подземных вод сместились от классических статистических методов (AHP, frequency ratio, logistic regression) к методам машинного обучения. Мексиканские специалисты выяснили, что основной причиной этого перехода является способность ML-алгоритмов моделировать нелинейные зависимости между гидрогеологическими факторами и продуктивностью подземных вод [1, артикул 105788].

Итальянским, бразильским и иранским учеными выяснено, что с 2020 года наблюдается значительное увеличение использования gradient boosting моделей, особенно XGBoost, благодаря их высокой эффективности в задачах гидрологического прогнозирования и пространственного моделирования. Обзор исследований в области водных ресурсов показывает, что XGBoost и его гибридные версии часто превосходят другие алгоритмы в задачах классификации и регрессии, включая моделирование водного стока, качества воды и подземных водных ресурсов [2, артикул 105971].

В своем обзоре специалисты США и Египта обобщили результаты 83 рецензируемых исследований, опубликованных в период с 2015 по 2025 год, с акцентом на широко используемые алгоритмы МО. Основные используемые предикторы:

- топография (elevation, slope),
- гидрологические индексы (TWI, drainage density),
- растительность (NDVI),
- влажность поверхности (NDWI),
- геология и литология.

Такая интеграция позволяет учитывать пространственную неоднородность факторов и улучшает геологическую интерпретацию результатов [3, с. 947].

Ученые из Египта в своих исследованиях изучали потенциальные зоны подземных вод в Восточной пустыне Кифт-Кена, Египет, с использованием междисциплинарного подхода, интегрирующего дистанционное зондирование (ДЗ), географические информационные системы (ГИС), геостатистику и полевую проверку с помощью скважин для разработки комплексной системы картирования потенциала подземных вод. Для получения важных тематических слоев, включая землепользование, индексы растительности, влажность почвы, плотность дренажной сети, уклон и высоту, использовались изображения Sentinel-2, цифровая модель рельефа ALOS PALSAR и данные SMAP [4, артикул 1909].

Иранские ученые совместно с корейским специалистом в своих работах улучшили картирование потенциала подземных вод в провинции Фарс, Иран, путем интеграции моделей случайного леса (RF) и категориального градиентного бустинга (CatBoost) с алгоритмом байесовской оптимизации [5, артикул 1520].

У специалистов Бангладеш целью исследования было оценить будущие потенциальные зоны подземных вод на основе алгоритмов машинного обучения и сценариев изменения климата. Для разработки алгоритмов машинного обучения использовались четырнадцать параметров (кривизна, плотность дренажной сети, уклон, шероховатость, количество осадков, температура, относительная влажность, плотность линейных элементов, землепользование и растительный покров, общие типы почв, геология, геоморфология, топографический индекс положения (TPI), топографический индекс влажности (TWI) [6, артикул 10328].

Были изучены материалы статьи ученых Саудовской Аравии, которые предлагают новую модель потенциала подземных вод (ПВП) в водосборном бассейне Биша, Саудовская Аравия, путем интеграции моделей машинного обучения (МО) на основе логистической регрессии (ЛР) и нечеткой логики для текущих и будущих сценариев [7, с. 14495].

Главной целью индийских исследователей, чьи критерии были учтены в этой работе, было картирование зон потенциального залегания подземных вод (ЗПЗ) в засушливых докембрийских районах с использованием комплексного многокритериального анализа (метод аналитической иерархии и геопрограммные методы). Результаты карт были сгруппированы в шесть различных категорий [8, с. 961].

Выбор Бокейординского района в качестве области исследования был мотивирован несколькими научными и практическими соображениями. Во-первых, район испытывает ограниченную доступность постоянных поверхностных водоемов, что увеличивает зависимость от подземных водных ресурсов. Во-вторых, гидрогеологическая информация по региону остается пространственно разрозненной и недостаточно интегрированной, особенно в отдаленных и сельских районах. В-третьих, сочетание засушливых климатических условий, неоднородных геологических форм и антропогенного воздействия создает сложную систему подземных вод, подходящую для тестирования передовых подходов машинного обучения. Наконец, наличие геопрограммных наборов данных, включая продукты дистанционного зондирования, цифровые модели рельефа, и геологическую информацию, обеспечивает подходящую основу для реализации картирования потенциала подземных вод на основе XGBoost и анализа интерпретируемости на основе SHAP.

Бокейординский район расположен в юго-восточной части Западно-Казахстанской области, в северной части Каспийской низменности западного Казахстана. Район занимает переходную зону от засушливой до полузасушливой, характеризующуюся ограниченными поверхностными водными ресурсами и сильной зависимостью от подземных вод для бытового, сельскохозяйственного и животноводческого хозяйства. Географически район расположен приблизительно между Волго-Уральским междуречьем и северо-восточной Каспийской впадиной, представляя собой гидрологически уязвимую территорию, где крайне важно устойчивое управление подземными водами. Климат исследуемой территории резко континентальный и засушливый, с жарким летом и холодной зимой. Осадки распределены неравномерно по сезонам и пространству, что приводит к низким эффективным темпам пополнения запасов подземных вод и эпизодическим процессам инфильтрации. Климатические условия значительно ограничивают естественное пополнение подземных вод и усиливают давление на существующие водоносные системы. В геологическом отношении исследуемая территория состоит преимущественно из четвертичных отложений, перекрывающих неогеновые и палеогеновые формации. Неконсолидированные отложения представлены в основном песками, песчаными суглинками, глинами и аллювиальными материалами различной проницаемости. Экологическая и гидрогеологическая сложность

региона делает его подходящим примером для оценки эффективности методов машинного обучения с объяснимой структурой при оценке потенциала подземных вод в условиях ограниченных данных и засушливых регионов.

Цель. Разработка геопространственной модели картирования потенциала подземных вод для Бокейординского района с использованием алгоритма машинного обучения XGBoost, данных дистанционного зондирования, факторов окружающей среды на основе ГИС и методов объяснимого искусственного интеллекта SHAP. Исследование направлено на выявление пространственных закономерностей залегания подземных вод и оценку относительного влияния гидрогеологических, топографических, климатических и поверхностных переменных на потенциал подземных вод в засушливой и ограниченной по объему данных среде.

Задачи:

- составить и обработать комплексную геопространственную базу данных, интегрирующую данные инвентаризации подземных вод, продукты дистанционного зондирования, топографические параметры, геологическую информацию и характеристики поверхности земли для исследуемой территории;
- вывести и подготовить факторы, влияющие на залегание подземных вод, с использованием ГИС и методов дистанционного зондирования, включая рельеф, гидрологические, геологические переменные, имеющие отношение к залеганию подземных вод;
- разработать модель потенциала подземных вод с использованием алгоритма машинного обучения XGBoost и создать пространственную карту потенциала подземных вод для исследуемого региона;
- оценить прогностическую эффективность и надежность разработанной модели с использованием статистических показателей валидации, таких как ROC-AUC и другие индикаторы оценки точности.

Материалы и методы. Выбранные переменные представляют собой ключевые физические факторы, влияющие на наличие и продуктивность подземных вод, включая:

- топографические условия (высота над уровнем моря, уклон, индекс водоносного горизонта)
- гидрологическая взаимосвязь (расстояние до водоемов, плотность дренажной сети)
- динамику поверхностной влажности и растительности (NDVI, NDWI, BSI)
- геологическую и гидрогеологическую структуру (литология, показатели проницаемости из GLHYMPS)

Эти переменные широко признаны в литературе по моделированию потенциала подземных вод как основные контролирующие факторы. Вся обработка данных, моделирование машинного обучения, пространственный анализ и визуализация были реализованы на языке Python в среде дистрибутива Anaconda. Рабочий процесс был разработан для обеспечения воспроизводимости и масштабируемости для геопространственных приложений машинного обучения.

Для работы использовались следующие библиотеки Python:

- NumPy – численные вычисления и манипулирование массивами;
- Pandas – обработка табличных данных и предварительная обработка данных о скважинах;
- GeoPandas – обработка векторных геопространственных данных (местоположения скважин и геологические шейп-файлы);
- Rasterio – чтение, обработка и экспорт растровых геопространственных наборов данных;
- Scikit-learn – предварительная обработка, метрики оценки и процедуры перекрестной проверки;
- XGBoost – модель машинного обучения с градиентным бустингом для классификации подземных вод;
- SHAP – интерпретируемость модели и анализ вклада признаков;
- Matplotlib – визуализация результатов, включая карты и диагностические графики.

Предварительная обработка и анализ пространственных данных проводились с использованием гармонизированных растровых слоев, включая топографические производные, гидроклиматические индексы и гидрогеологические параметры.

Все наборы данных обрабатывались в согласованной системе координат (EPSG:32639, WGS 84 / UTM Zone 39N), а также одинакового разрешения растровых данных – 10 м, что обеспечивало пространственное выравнивание всех переменных-предикторов и обучающих данных. Без гармонизации это привело бы к погрешностям, зависящим от масштаба, в модели машинного обучения и исказило бы взаимосвязи признаков. Предварительная обработка растровых данных гарантировала, что каждое местоположение пикселя соответствует полному вектору признаков без пропущенных или несовпадающих значений. Вычислительная среда, основанная на Anaconda Python, обеспечила стабильную экосистему научных вычислений для рабочих процессов геопространственного машинного обучения.

Данные о местонахождении скважин грунтовых вод были собраны в виде векторных точечных данных (wells.shp) и использованы в качестве выборок для инвентаризации грунтовых вод при обучении и проверке модели XGBoost. Эти точки инвентаризации представляют собой подтвержденные места залегания грунтовых вод в пределах исследуемой области и являются зависимой переменной в рамках моделирования потенциала грунтовых вод. Для работы было использовано 202 скважины подземных вод, содержащих координаты и данные о расходе (Debit). Дополнительно в качестве гидрогеологических параметров использованы данные о гидрогеологических параметрах из базы данных GLHYMPS в формате векторного шейп-файла. Этот набор данных предоставляет пространственную

информацию о подземных литологических единицах и связанных с ними гидравлических свойствах, включая проницаемость и пористость. Данные GLHYMPS были интегрированы в среду ГИС и использованы в качестве ключевого гидрогеологического входного слоя для моделирования потенциала подземных вод, поддерживая представление характеристик подземных материалов, контролирующих залегание подземных вод и условия потока.

Растровые наборы данных, использованные в этом исследовании, были подготовлены в ПО ArcGIS, на основе многоспектральных изображений Sentinel-2, полученных через Copernicus Open Access Hub, общим объемом 8,69Гб (таблица 1).

Таблица 1 – Идентификаторы снимков Sentinel-2

Identifier	Cloud, %	Volume Mb
S2B_MSIL1C_20250425T074609_N0511_R135_T38UQV_20250425T093156.SAFE	2	732
S2B_MSIL1C_20250515T074609_N0511_R135_T38UQU_20250515T082147.SAFE	5	776
S2C_MSIL1C_20250420T074631_N0511_R135_T38UPU_20250420T094856.SAFE	11	731
S2C_MSIL1C_20250423T075631_N0511_R035_T38UPV_20250423T095729.SAFE	16	713
S2A_MSIL1C_20250711T075031_N0511_R135_T38UQV_20250711T083526.SAFE	18	758
S2B_MSIL1C_20250607T075609_N0511_R035_T38UPV_20250607T082711.SAFE	9	686
S2C_MSIL1C_20250709T074631_N0511_R135_T38UPU_20250709T093436.SAFE	0	736
S2C_MSIL1C_20250709T074631_N0511_R135_T38UQU_20250709T093436.SAFE	7	778
S2B_MSIL1C_20250922T074609_N0511_R135_T38UQV_20250922T082434.SAFE	1	750
S2B_MSIL1C_20251002T074639_N0511_R135_T38UPU_20251002T093220.SAFE	15	744
S2B_MSIL1C_20251002T074639_N0511_R135_T38UQU_20251002T093220.SAFE	18	792
S2C_MSIL1C_20250930T075741_N0511_R035_T38UPV_20250930T094504.SAFE	3	718

Для обеспечения полного пространственного охвата исследуемой области были созданы бесшовные мозаичные покрытия из 4 тайлов каждого сезонного набора, для создания растровых факторов, влияющих на окружающую среду.

Карта уклонов была получена на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) миссии Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) и использована в качестве одного из факторов в анализе. Значения уклона рассчитывались в градусах ($^{\circ}$), варьируясь от 0–0,24 $^{\circ}$ (красного цвета) на почти плоских участках, до 16–120 $^{\circ}$ (зеленого цвета) на относительно крутых участках местности. Преобладание низких значений уклона указывает на, в целом, плоские топографические условия на всей территории исследования, что может способствовать процессам поверхностной инфильтрации и пополнения грунтовых вод (рисунок 1а).

Цифровая модель рельефа (ЦМР) миссии Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) с начальным пространственным разрешением 30 м была получена из экосистемы данных космического пространства Copernicus. Затем она была передискретизирована до разрешения 10 м для обеспечения согласованности с другими пространственными наборами данных, используемыми в анализе. Значения высоты в Бокейординском районе варьировались от –35 до 49 м над уровнем моря, что отражает преимущественно низменный рельеф исследуемой территории (рисунок 1б).

Индекс топографической влажности (TWI) был получен на основе анализа рельефа местности с использованием данных миссии Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), при этом в качестве основных входных параметров использовались уклон и удельная площадь водосборного бассейна. TWI – безразмерный индекс (т.е. не имеющий физических единиц). Он используется для представления пространственного распределения потенциального накопления почвенной влаги и насыщения поверхности. Более высокие значения TWI указывают на области с большим потенциалом накопления воды и более высоким содержанием почвенной влаги, в то время как более низкие значения соответствуют хорошо дренированным и относительно сухим условиям. В данном исследовании значения TWI варьировались приблизительно от 4–8 в хорошо дренированных возвышенных районах до 15–26 в низменных зонах с более высоким потенциалом накопления воды и пополнения грунтовых вод (рисунок 1в).

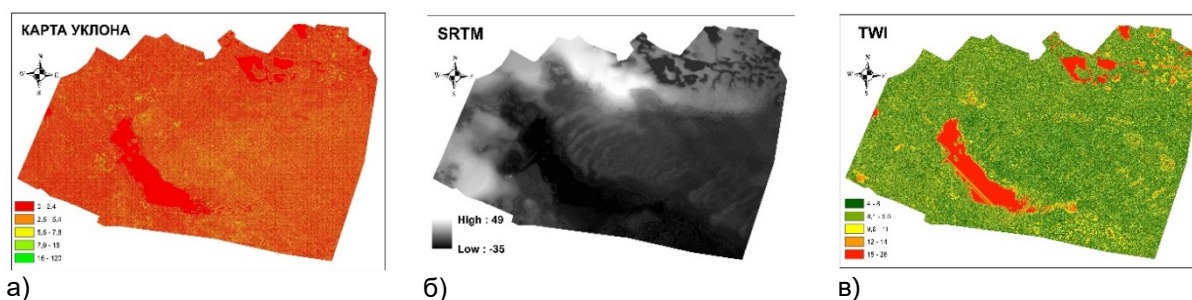


Рисунок 1 – Растровые наборы данных: а) карта уклона; б) SRTM; в) TWI

Индекс NDVI (нормализованный разностный индекс растительности) рассчитывался по мультиспектральным изображениям Sentinel-2 с использованием стандартных красных и ближних инфракрасных (ИК) спектральных диапазонов. Для данных Sentinel-2 NDVI вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

где: *NIR* – отражательная способность в ближнем инфракрасном диапазоне (Sentinel-2 Band 8), с длиной волны 0,84 μm ;

RED – отражательная способность в красном диапазоне (Sentinel-2 Band 4), с длиной волны 0,66 μm .

NDVI – это безразмерный индекс со значениями от -1 до $+1$, представляющий плотность и жизнеспособность растительности. Отрицательные значения обычно указывают на водоемы, голую почву или поверхности без растительности, в то время как значения, близкие к $+1$, указывают на густой и здоровый растительный покров.

Сезонная динамика NDVI показала четкую временную изменчивость. Весной значения NDVI колебались от $-0,39$ до $-0,10$ на участках с редкой растительностью или без растительности и от $0,27$ до $0,59$ в зонах с умеренной растительностью. Летом значения варьировались от $-0,42$ до $-0,15$ на незаросших участках и от $0,16$ до $0,57$ на участках с растительностью. Осенью значения NDVI колебались от $-0,54$ до $-0,017$ на участках с низким или отсутствующим растительным покровом и от $0,14$ до $0,50$ на участках с остаточной растительностью. Эти закономерности отражают сезонные изменения фенологии растительности и условия поверхностной влажности в Бокейординском районе (рисунок 2).

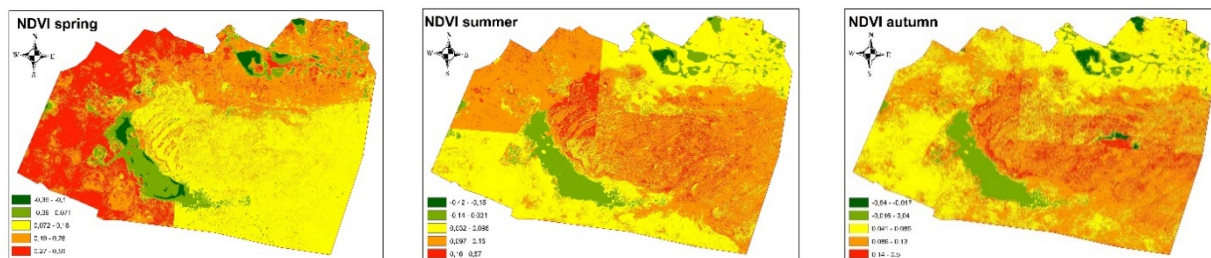


Рисунок 2 – Растровые наборы данных: сезонные карты NDVI

Индекс NDWI (Normalized Difference Water Index) был получен из мультиспектральных изображений Sentinel-2 с использованием стандартных зеленого и ближнего инфракрасного (NIR) диапазонов. Для данных Sentinel-2 NDWI рассчитывается по формуле:

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (2)$$

где: *GREEN* соответствует диапазону 3 канала Sentinel-2 с длиной волны 0,56 μm ;

NIR – диапазону 8 канала Sentinel-2 с длиной волны 0,84 μm .

NDWI – это безразмерный спектральный индекс в диапазоне от -1 до $+1$, широко используемый для оценки наличия поверхностных вод, состояния влажности почвы и содержания воды в растительности. Положительные значения обычно указывают на открытые водоемы или высокую влажность поверхности, тогда как отрицательные значения соответствуют сухим почвам, редкой растительности или неводным поверхностям.

Показатели NDWI имели явную сезонную изменчивость в Бокейординском районе. Более высокие значения постоянно ассоциировались с зонами с высокой влажностью, в то время как более низкие значения характеризовали засушливые и нерастительные районы. Сезонные колебания отражают временные изменения доступности поверхностных вод и динамики влажности почвы, которые являются важными факторами, влияющими на процессы инфильтрации и, следовательно, на потенциал грунтовых вод (рисунок 3).

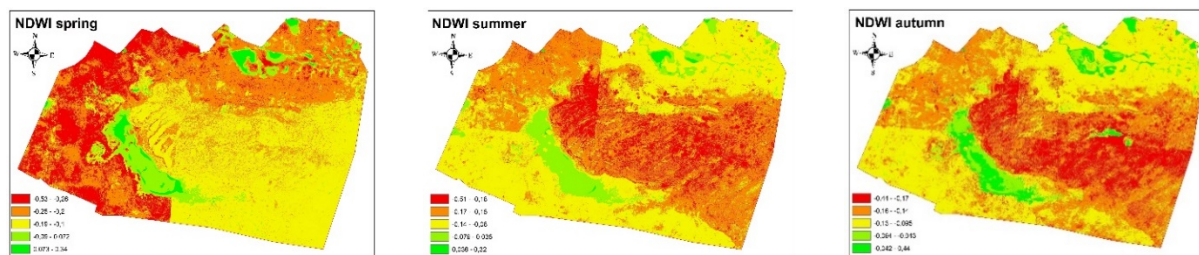


Рисунок 3 – Растровые наборы данных: сезонные карты NDWI

Индекс голой почвы (BSI) был получен на основе мультиспектральных изображений Sentinel-2 для определения состояния голой почвы и степени обнаженности поверхности земли на исследуемой территории. BSI вычисляется по следующей формуле:

$$BSI = \frac{(RED + SWIR) - (NIR + BLUE)}{(RED + SWIR) + (NIR + BLUE)} \quad (3)$$

где: RED соответствует диапазону 4 канала Sentinel-2 с длиной волны 0,66 μm ;
 BLUE соответствует диапазону 2 канала Sentinel-2 с длиной волны 0,49 μm ;
 NIR соответствует диапазону 8 канала Sentinel-2 с длиной волны 0,84 μm ;
 SWIR соответствует диапазону 11 канала Sentinel-2 с длиной волны 1,61 μm .

BSI – это безразмерный индекс, значения которого обычно варьируются от –1 до +1. Положительные значения указывают на обнаженную почву или редко заросшие растительностью поверхности с высокой степенью обнажения почвы, тогда как отрицательные значения соответствуют заросшим растительностью или влажным поверхностям. В гидрогеологических исследованиях индекс BSI обычно используется в качестве индикатора условий проницаемости поверхности и потенциальной изменчивости инфильтрации, что косвенно влияет на процессы пополнения подземных вод (рисунок 4).

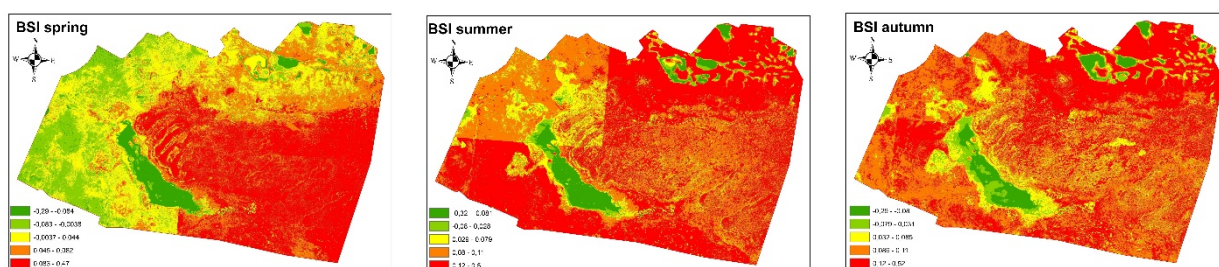


Рисунок 4 – Растровые наборы данных: сезонные карты BSI

Индекс BSI продемонстрировал умеренную пространственную и сезонную изменчивость в Бокейординском районе, при этом более высокие значения были связаны с обнаженными и деградированными поверхностями земли, а более низкие значения соответствовали заросшим растительностью или влажным участкам. В целом, результаты указывают на преобладание полувсасушливых поверхностных условий с обширным обнажением почвы, что соответствует засушливому климату региона и имеет значение для оценки потенциала подземных вод.

Геологическая карта, использованная в данном исследовании, была получена из базы данных Геологической службы США (USGS) и впоследствии обрезана по границам Бокейординского района для обеспечения пространственной согласованности с другими геопространственными наборами данных. По полученной карте видно, что на территории региона преобладают неогеновые отложения (рисунок 5а).

Плотность дренажной сети определялась на основе данных гидрологической сети и рассчитывалась как общая длина водотоков на единицу площади. Данные определены в ArcGIS с использованием пространственной интерполяции и гидрологического анализа извлеченной сети рек. Она выражается в км/км², что представляет собой безразмерное отношение, отражающее степень расчленения ландшафта поверхностными каналами (рисунок 5б).

Плотность дренажной сети продемонстрировала явную пространственную изменчивость в Бокейординском районе: более низкие значения характеризовали слабо расчлененные равнины, а более высокие – более интенсивно расчлененные или канализированные участки. В целом, преобладание низкой плотности дренажной сети указывает на ограниченное расчленение поверхностного стока и относительно слабое развитие поверхностного дренажа, что обычно связано с более высоким потенциалом инфильтрации и, следовательно, более благоприятными условиями для пополнения подземных вод.

Расстояние до водоемов было рассчитано в ArcGIS с использованием анализа евклидовых расстояний от ближайших поверхностных водоемов (рек, ручьев и водоемов). Полученный растр представляет собой пространственное расстояние до ближайшего источника воды и выражается в метрах (м). В данном исследовании более низкие значения указывают на близость к поверхностным водоемам, а более высокие значения представляют собой более изолированные области, расположенные дальше от гидрологических объектов. В пространственном отношении исследуемая территория характеризуется широким диапазоном расстояний, отражающим неоднородную доступность поверхностных вод, что является важным фактором, влияющим на местные гидрологические условия и распределение потенциала подземных вод (рисунок 5в).

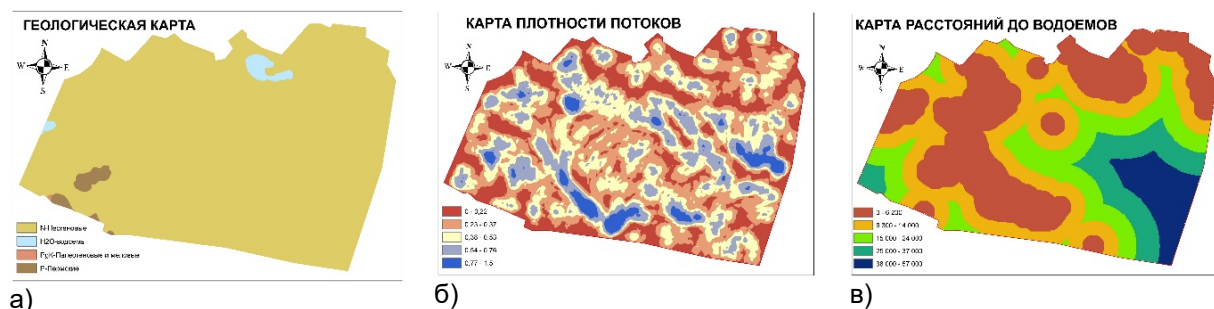


Рисунок 5 – Растровые наборы данных: а) геологическая карта; б) карта плотности потоков; в) карта расстояний до водотоков

Для классификации использовался классификатор XGBoost:

- многоклассовая классификация
- 15 пространственных предикторов
- 202 обучающих выборки

Модель была обучена на классах продуктивности подземных вод, полученных из скважин (рисунок 6).

Регр.	СНС	Широта	Длина	Рельеф	Глубина	Диаметр
0	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
1	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
2	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
3	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
4	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
5	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
6	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
7	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
8	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
9	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
10	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0
11	0.0	51.12	11.03	100.0	100.0	100.0

```
OBJECTID_1 OBJECTID_2 Nazvanie Debit Mineraliza Tip Gлубина Diametr \
0 2 12457 2 0,21 0,19 Шхтный 9,5 1000,0
1 3 12458 3 0,21 0,64 Шхтный 13,0 1000,0
2 5 12460 5 0,18 0,64 Шхтный 14,0 1000,0
3 6 12461 6 0,08 0,28 Шхтный 5,0 2500,0
4 8 12463 8 0,38 0,34 Шхтный 12,0 1000,0

опис Same_1 POINT_X POINT_Y \
0 глубинный насос 7,0 46,903112 48,811131
1 глубинный насос 11,0 46,857388 48,795689
2 глубинный насос 12,0 46,874893 48,774454
3 мотопомпа 4,0 48,852347 48,775474
4 глубинный насос 8,5 46,906685 48,800432

geometry
0 POINT (199245,764 5414558,718)
1 POINT (198794,47 5413707,882)
2 POINT (198953,527 5418959,976)
3 POINT (195303,776 5418798,481)
4 POINT (199442,078 5412355,871)
Index(['OBJECTID_1', 'OBJECTID_2', 'Nazvanie', 'Debit', 'Mineraliza', 'Tip',
      'Gлубина', 'Diametr', 'опис', 'Same_1', 'POINT_X', 'POINT_Y',
      'geometry'],
      dtype='object')
EPSC:32639
202
```

Рисунок 6 – Промежуточные скрипты Python: загруженные наборы данных

Результаты. Значения SHAP были вычислены для количественной оценки вклада признаков в прогнозы модели, что позволило интерпретировать гидрогеологические факторы. Неопределенность прогноза оценивалась с использованием энтропии Шеннона вероятностей классов:

- высокая энтропия → низкая уверенность
- низкая энтропия → высокая уверенность
- Пространственная кросс-валидация $F1 \approx 0,24 \pm 0,23$

Модель XGBoost позволила создать пространственно распределенную карту потенциала грунтовых вод, демонстрирующую сильную неоднородность, обусловленную топографией и гидрогеологической структурой (рисунок 7).

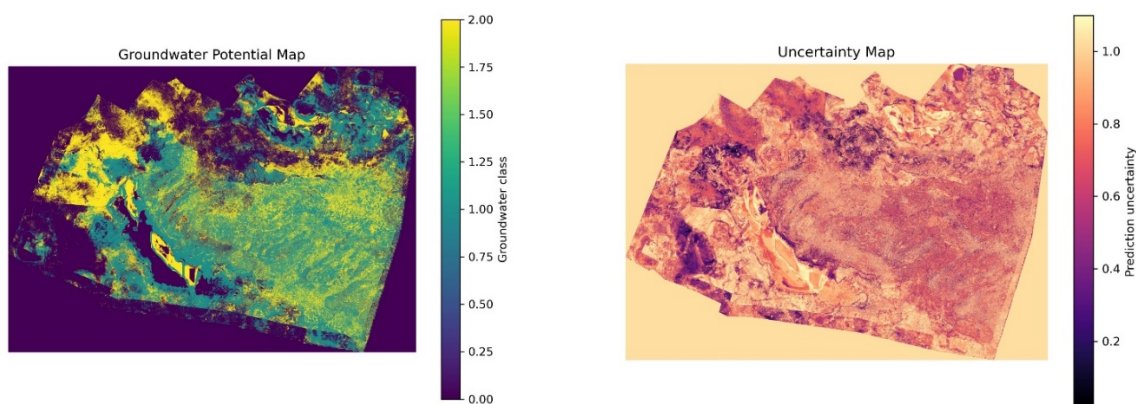


Рисунок 7 – Сгенерированные карты машинным обучением: потенциала и неопределенности подземных вод Бокейординского района Западно-Казахстанской области

Результаты SHAP показывают, что TWI, SRTM, расстояние до водных объектов, плотность дренажной сети являются доминирующими факторами, определяющими потенциал подземных вод (рисунок 8).

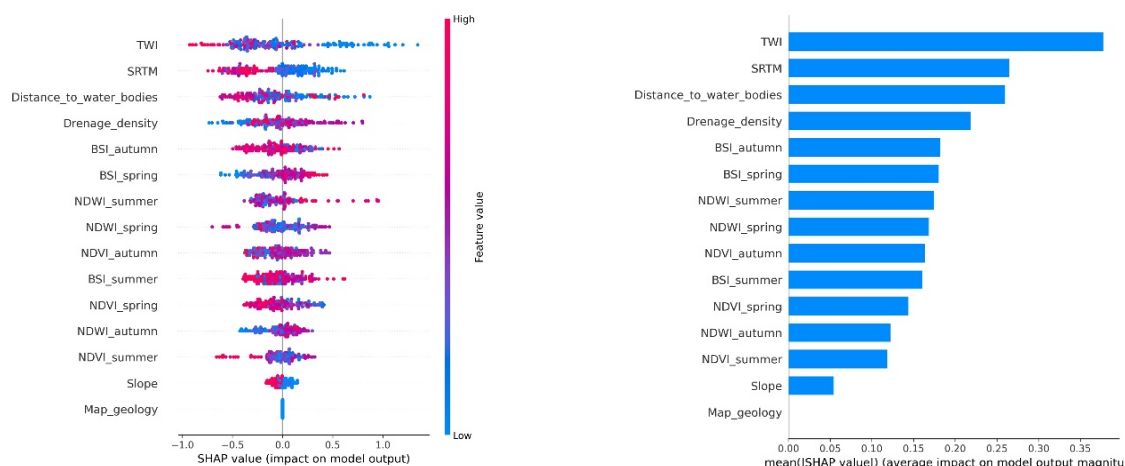


Рисунок 8 – Сводная диаграмма SHAP важности признаков

Относительно низкая пространственная точность коэффициента вариации ($F1 \approx 0,24$) отражает присущую сложность прогнозирования продуктивности подземных вод на основе редких наблюдений в скважинах и сильно неоднородных условий подземных слоев.

Тем не менее, модель все же улавливает значимую пространственную структуру, о чем свидетельствуют:

- физически непротиворечивые пространственные закономерности;
- согласованное распределение неопределенности;
- интерпретируемые взаимосвязи SHAP.

Это указывает на то, что эффективность модели следует интерпретировать в контексте:

- разреженности пространственных данных;
- дисбаланса классов;
- гидрогеологической сложности.

Вместо чисто прогностической точности модель предоставляет физически непротиворечивый пространственный индикатор потенциала подземных вод (рисунок 9).

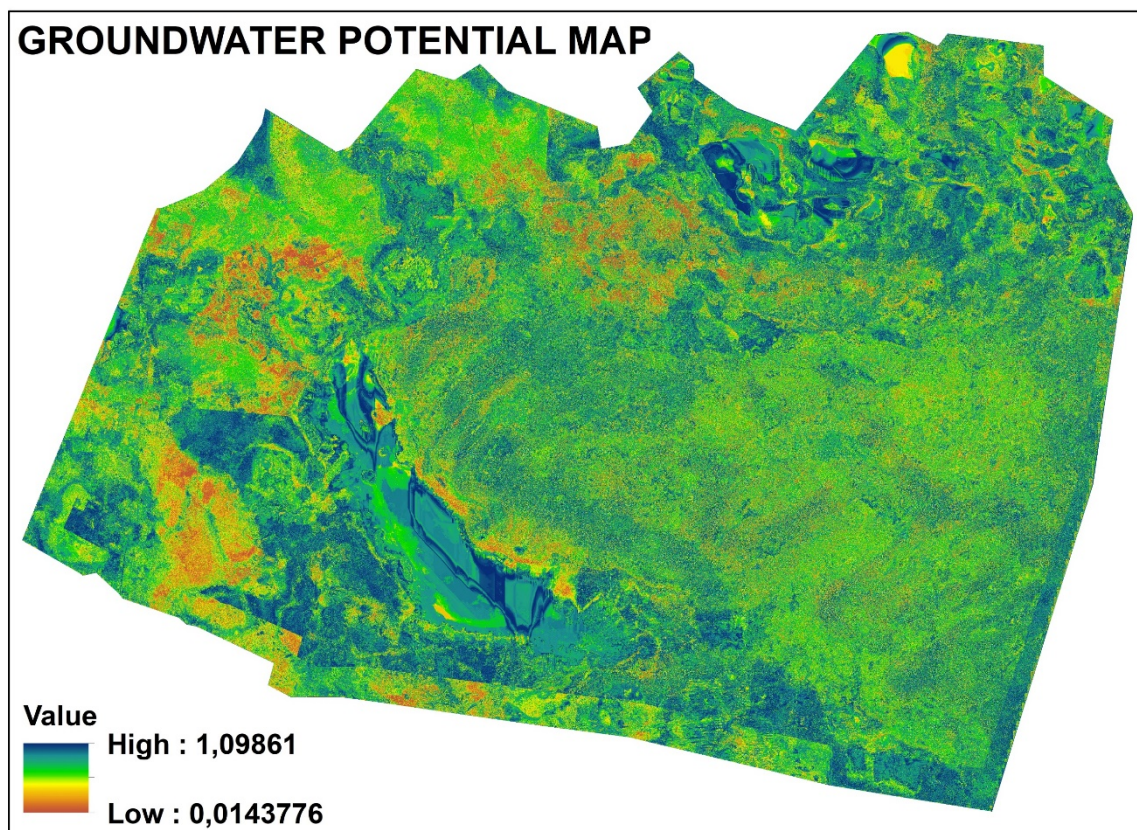


Рисунок 9 – Прогностическая карта подземных вод Бокейординского района Западно-Казахстанской области

Разработанная модель машинного обучения определила западную и северо-западную части Бокейординского района как зоны со сравнительно высоким потенциалом подземных вод. Полученная карта потенциала подземных вод указывает на то, что эти районы обладают благоприятными гидрогеологическими и экологическими условиями, связанными с повышенной вероятностью залегания подземных вод. Пространственные закономерности, предсказанные моделью, свидетельствуют о том, что распределение потенциала подземных вод в значительной степени зависит от совокупного воздействия топографических, гидрологических, геологических факторов и факторов поверхности земли, включенных в модель.

Заключение. Объяснение важности признаков в сравнении с согласованностью SHAP

Важность признаков, полученная с помощью XGBoost, была проверена с использованием SHAP (SHapley Additive exPlanations) для обеспечения согласованности интерпретируемости. Хотя XGBoost предоставляет глобальную важность признаков на основе выигрыша от разделения, этот показатель сам по себе может быть смещен в сторону переменных с большей изменчивостью или большим количеством возможностей разделения.

Для решения этой проблемы были вычислены значения SHAP, чтобы обеспечить единую меру как глобального, так и локального вклада признаков. Сравнение важности признаков XGBoost и рейтингов SHAP показало согласованное определение доминирующих предикторов, подтверждая надежность интерпретации модели.

Несмотря на надежность модели, следует отметить ряд ограничений.

Во-первых, относительно небольшое количество наблюдений в скважинах ($n = 202$) вносит неопределенность в обобщение модели в условиях неоднородности гидрогеологических условий. Во-вторых, пространственная автокорреляция может частично влиять на производительность модели, несмотря на использование пространственной перекрестной проверки. В-третьих, разрешение растровых входных данных может не в полной мере отражать мелкомасштабную неоднородность подземных слоев.

Для решения этих проблем неопределенность была явно количественно оценена с использованием энтропии вероятностей классов, что позволило идентифицировать зоны прогнозирования с низкой степенью достоверности. Эти зоны обычно соответствуют гидрогеологическим переходным зонам, где изменчивость входных данных высока.

Поэтому выходные данные модели следует интерпретировать как вероятностные оценки потенциала подземных вод, а не как детерминированные прогнозы.

Данное исследование вносит вклад в картирование потенциала подземных вод, интегрируя ряд методологических достижений в единую структуру. Во-первых, оно сочетает пространственное прогнозирование на основе XGBoost с явной пространственной перекрестной проверкой для уменьшения пространственной погрешности. Во-вторых, оно включает в себя объяснимость на основе SHAP для получения физически интерпретируемых данных о гидрогеологических факторах. В-третьих, оно вводит слой количественной оценки неопределенности, основанный на энтропии вероятностей прогнозирования, что позволяет пространственно идентифицировать зоны с низкой степенью достоверности.

В отличие от предыдущих исследований, которые в основном фокусировались на точности прогнозирования, эта работа подчеркивает интерпретируемость, пространственную устойчивость и моделирование с учетом неопределенности в рамках единого воспроизводимого рабочего процесса. Интеграция многоисточниковых геопространственных наборов данных, машинного обучения обеспечивает переносимую структуру для оценки подземных вод в регионах с дефицитом данных для сельского хозяйства и животноводства.

Информация о финансировании. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы BR24992885 «Научно-практическое обоснование устойчивого развития отечественного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий подземными водами».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Uc-Castillo J.L., Marín-Celestino A.E., Armando D., Tuxpan-Vargas J., Ramos-Leal J.A. A systematic review and meta-analysis of groundwater level forecasting with machine learning techniques: Current status and future directions [Text] / J.L. Uc-Castillo, A.E. Marín-Celestino, D. Armando, J. Tuxpan-Vargas, J.A. Ramos-Leal // Environmental Modelling & Software. – 2023. – Vol. 168. – P. 105788. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105788>.
2. Niazkar M., Menapace A., Brentan B., Piraei R., Jimenez D., Dhawan P., Righetti M. Applications of XGBoost in water resources engineering: A systematic literature review (Dec 2018–May 2023) [Text] / M. Niazkar, A. Menapace, B. Brentan, R. Piraei, D. Jimenez, P. Dhawan, M. Righetti // Environmental Modelling & Software. – 2024. – Vol. 174. – P. 105971. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.105971>.
3. Ali M.A.H., Elsadek E.A., Williams C., Thorp K.R., Elshikha D.E.M. Groundwater Potential Mapping Using Machine Learning Techniques: Current Trends and Future Perspectives [Text] / M.A.H. Ali, E.A. Elsadek, C. Williams, K.R. Thorp, D.E.M. Elshikha // Water. – 2026. – Vol. 18. – P. 947. <https://doi.org/10.3390/w18080947>.

4. Mostafa A.E.-s., Ali M.A.M., Ali F.A., Rabeiy R., Saleem H.A., Ali M.A.H., Shebl A. Groundwater Potential Mapping in Semi-Arid Areas Using Integrated Remote Sensing, GIS, and Geostatistics Techniques [Text] / A.E.-s. Mostafa, M.A.M. Ali, F.A. Ali, R. Rabeiy, H.A. Saleem, M.A.H. Ali, A. Shebl // Water. – 2025. – Vol. 17. – P. 1909. <https://doi.org/10.3390/w17131909>.
5. Hosseini F.S., Jafari A., Zandi I., Alesheikh A.A., Rezaie F. Groundwater Potential Mapping Using Optimized Decision Tree-Based Ensemble Learning Model with Local and Global Explainability [Text] / F.S. Hosseini, A. Jafari, I. Zandi, A.A. Alesheikh, F. Rezaie // Water. – 2025. – Vol. 17. – P. 1520. <https://doi.org/10.3390/w17101520>.
6. Sarkar S.K., Rudra R.R., Talukdar S., et al. Future groundwater potential mapping using machine learning algorithms and climate change scenarios in Bangladesh [Text] / S.K. Sarkar, R.R. Rudra, S. Talukdar et al. // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 10328. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60560-2>.
7. Mallick J., Almesfer M.K., Alsubih M., Talukdar S., Ahmed M., Ben Kahla N. Developing a new method for future groundwater potentiality mapping under climate change in Bisha watershed, Saudi Arabia [Text] / J. Mallick, M.K. Almesfer, M. Alsubih, S. Talukdar, M. Ahmed, N. Ben Kahla // Geocarto International. – 2022. – Vol. 37. – P. 14495–14527. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2088861>.
8. Pradhan R.M., Guru B., Pradhan B., Biswal T.K. Integrated multi-criteria analysis for groundwater potential mapping in Precambrian hard rock terranes (North Gujarat), India [Text] / R.M. Pradhan, B. Guru, B. Pradhan, T.K. Biswal // Hydrological Sciences Journal. – 2021. – Vol. 66. – P. 961–978. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1906427>.

REFERENCES:

1. Uc-Castillo J.L., Marín-Celestino A.E., Armando D., Tuxpan-Vargas J., Ramos-Leal J.A. A systematic review and meta-analysis of groundwater level forecasting with machine learning techniques: Current status and future directions. *Environmental Modelling & Software*, 2023, vol. 168, art. 105788. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105788>
2. Niazkar M., Menapace A., Brentan B., et al. Applications of XGBoost in water resources engineering: A systematic literature review (Dec 2018–May 2023). *Environmental Modelling & Software*, 2024, vol. 174, art. 105971. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.105971>
3. Ali M.A.H., Elsadek E.A., Williams C., Thorp K.R., Elshikha D.E.M. Groundwater Potential Mapping Using Machine Learning Techniques: Current Trends and Future Perspectives. *Water*, 2026, vol. 18, art. 947. <https://doi.org/10.3390/w18080947>
4. Mostafa A.E.-s., Ali M.A.M., Ali F.A., et al. Groundwater Potential Mapping in Semi-Arid Areas Using Integrated Remote Sensing, GIS, and Geostatistics Techniques. *Water*, 2025, vol. 17, art. 1909. <https://doi.org/10.3390/w17131909>
5. Hosseini F.S., Jafari A., Zandi I., Alesheikh A.A., Rezaie F. Groundwater Potential Mapping Using Optimized Decision Tree-Based Ensemble Learning Model with Local and Global Explainability. *Water*, 2025, vol. 17, art. 1520. <https://doi.org/10.3390/w17101520>
6. Sarkar S.K., Rudra R.R., Talukdar S., et al. Future groundwater potential mapping using machine learning algorithms and climate change scenarios in Bangladesh. *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, art. 10328. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60560-2>
7. Mallick J., Almesfer M. K., Alsubih M., et al. Developing a new method for future groundwater potentiality mapping under climate change in Bisha watershed, Saudi Arabia. *Geocarto International*, 2022, vol. 37, iss. 26, pp. 14495–14527. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2088861>
8. Pradhan R.M., Guru B., Pradhan B., Biswal T.K. Integrated multi-criteria analysis for groundwater potential mapping in Precambrian hard rock terranes (North Gujarat), India. *Hydrological Sciences Journal*, 2021, vol. 66, iss. 6, pp. 961–978. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1906427>.

Сведения об авторах:

Оңласынов Жұлдызбек Әліханұлы* – доктор философии (PhD), заведующий лабораторией ГИС-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru.

Шагарова Людмила Валентиновна – кандидат технических наук, член РосГидроГео, младший научный сотрудник «Института радиофизики и физической электроники, Омский научный центр Сибирского отделения РАН», Российская Федерация, 644024, г. Омск, пр. Карла Маркса 15, тел.: +7(3812) 37-17-36, e-mail: igg_gis-dzz@mail.ru.

Абсаметов Малис Кудысович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 87272911862, e-mail: igg.info@mail.ru.

Муратова Мира Муратовна – ведущий инженер лаборатории ГИС-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 87272914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Оңласынов Жұлдызбек Әлиханұлы* – гидрогеология және инженерлік геология ғылымдарының докторы (PhD), ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының меңгерушісі, «Ұ.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, Сәтбаев университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, тел.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru.

Людмила Валентиновна Шагарова – техника ғылымдарының кандидаты, RosHydroGeo мүшесі, Омбы ғылыми орталығының Радиофизика және физикалық электроника институтының кіші ғылыми қызметкері, Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімшесі, Ресей Федерациясы, 644024, Омск, Карл Маркс даңғ, 15, тел.4662, тел.: 37-17-36, e-mail: igg_gis-dzz@mail.ru.

Абсаметов Мәліс Құдысұлы – геология-минералогия ғылымдарының докторы, профессор, «Ұ.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының директоры, Сәтбаев университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, тел.: 87272911862, e-mail: igg.info@mail.ru.

Мұратова Мира Мұратқызы – ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының жетекші инженері, «Ұ.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты Ахмедсафина, Сәтбаев университеті», 050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, тел.: 87272914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Onlasyynov Zhuldyzbek Alikhanuly* – PhD, Head of the Laboratory of GIS Technologies and Remote Sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek.onlasyynov@mail.ru.

Shagarova Lyudmila Valentinovna – Candidate of Technical Sciences, Member of RosHydroGeo, Junior Researcher, Institute of Radiophysics and Physical Electronics, Omsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 644024, Omsk, 15 Karl Marx Ave., tel.: +7 (3812) 37-17-36, e-mail: igg_gis-dzz@mail.ru.

Abсамetov Malis Kudyssovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Director, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: +7(727) 291-18-62, e-mail: igg.info@mail.ru.

Muratova Mira Muratovna – Leading Engineer, Laboratory of GIS technologies and Earth remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, 050010, Republic of Kazakhstan, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: 87272914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

МРНТИ 68.05.43

УДК 631.438.2

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621188>

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И УРОВНИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Рахимбаев Б.С. – доктор технических наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Жумалынов К.А.* – докторант ОП «8D05101 – Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Казбекова К.А. – магистр педагогических наук по ОП «7M01503 – Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Лянга П.Ю. – магистрант ОП «7M05101 – Биология», НАО Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Актуальность исследования обусловлена отсутствием информации об уровнях естественных и техногенных радионуклидов в почвах Костанайской области. В регионе расположены крупные месторождения полезных ископаемых, а также Костанайская область является одним из главных зернопроизводящих районов Казахстана. Двойное техногенное давление создает условия, благоприятные для перераспределения и потенциальному накоплению как естественных, так и техногенных радионуклидов в почвенном покрове. Измерение радионуклидов проводили на гамма-радиометре РКГ-АТ 1320С. Определялась удельная активность радионуклидов ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{134}Cs . В результате исследования установлено, что средние значения удельной активности ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th находятся в пределах или ниже среднемировых значений (НҚДАР ООН), а все значения Аэфф

соответствуют I классу радиационной безопасности (НРБ-99). Данные свидетельствуют о благоприятной радиационной обстановке и низком уровне потенциального риска. Содержание техногенного ^{137}Cs , за исключением единичных аномалий, не превышает нормативных значений. Выявленные локальные особенности: повышенное содержание ^{40}K в нижних горизонтах площадки Юбилейное, аномалия ^{226}Ra на площадке Московский, нетипичное глубинное распределение ^{137}Cs на площадке Аманқарағай, представляют научный интерес и требуют дополнительных исследований для установления их происхождения. Рекомендуется проведение периодического мониторинга на участках с выявленными аномалиями, а также расширение исследований на территориях, прилегающих к горнодобывающим объектам региона. Полученные данные составляют первую систематическую радиозэкологическую базу для сельскохозяйственных почв Костанайской области и могут быть использованы в качестве референтных значений при разработке региональных программ радиозэкологического мониторинга.

Ключевые слова: радионуклиды, радиационная безопасность, гамма-излучение, радиозэкологическая оценка.

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ РАДИОЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАСЫ ЖӘНЕ ГАММА-СӘУЛЕЛЕНУ ДЕҢГЕЙЛЕРІ

Рахымбаев Б.С. – техника ғылымдарының докторы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Жумалынов К.А.* – «8D05101 – Биология» ББ бағдарламасының докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Казбекова К.А. – «7M01503 Химия» ББ бағдарламасы бойынша педагогика ғылымдарының магистрі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Лянга П.Ю. – «7M05101 – Биология» ББ бағдарламасының магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Зерттеудің өзектілігі Қостанай облысының топырақ жамылғысындағы табиғи және техногендік радионуклидтердің деңгейі туралы ақпараттың тапшылығымен айқындалады. Өңірде ірі пайдалы қазба кен орындары орналасқан, сонымен қатар Қостанай облысы Қазақстанның негізгі астық өндіруші аудандарының бірі болып табылады. Мұндай қосарланған техногендік қысым топырақ қабатында табиғи және техногендік радионуклидтердің қайта бөлінуі мен жинақталуына қолайлы жағдай туғызады. Радионуклидтерді өлшеу РКГ-АТ 1320С гамма-радиометрінде жүргізілді. Зерттеу барысында ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{134}Cs радионуклидтерінің меншікті белсенділігі анықталды. Зерттеу нәтижесінде ^{40}K , ^{226}Ra және ^{232}Th меншікті белсенділігінің орташа мәндері әлемдік орташа мәндер (БҰҰ АРӨҒК) шегінде немесе одан төмен екендігі, ал барлық $A_{\text{түім}}$ (түімді меншікті белсенділік) мәндері радиациялық қауіпсіздіктің I класына (РҚН-99) сәйкес келетіндігі анықталды. Алынған мәліметтер қолайлы радиациялық жағдайды және әлеуетті тәуекелдің төмен деңгейін көрсетеді. Техногендік ^{137}Cs мөлшері, жекелеген аномалияларды қоспағанда, нормативтік мәндерден аспайды. Анықталған локальді ерекшеліктер: «Юбилейное» алаңының төменгі горизонттарындағы ^{40}K жоғары мөлшері, «Московский» алаңындағы ^{226}Ra аномалиясы және «Аманқарағай» алаңындағы ^{137}Cs тереңдік бойынша әдеттен тыс таралуы, ғылыми қызығушылық тудырады және олардың шығу тегін анықтау үшін қосымша зерттеулерді талап етеді. Аномалиялар анықталған учаскелерде мерзімді мониторинг жүргізу, сондай-ақ зерттеу аясын өңірдегі тау-кен нысандарына іргелес аумақтарда кеңейту ұсынылады. Алынған деректер Қостанай облысының ауыл шаруашылығы топырақтары үшін алғашқы жүйелі радиозэкологиялық базаны құрайды және өңірлік радиозэкологиялық мониторинг бағдарламаларын әзірлеу кезінде референттік мәндер ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: Радионуклидтер, радиациялық қауіпсіздік, гамма сәулеленуі, радиозэкологиялық бағалау.

RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT AND GAMMA RADIATION LEVELS OF THE SOIL COVER IN KOSTANAY REGION

Rakhimbayev B.S. – Doctor of Technical Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Zhumalynov K.A.* – PhD student, “8D05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kazbekova K.A. – Master of Pedagogical Sciences, “7M01503 – Chemistry” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Lyanga P.Yu. – Master’s student, “7M05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

The relevance of this study is driven by the lack of comprehensive data regarding the levels of natural and anthropogenic radionuclides in the soils of the Kostanay region. This region is characterized by significant mineral deposits and serves as one of Kazakhstan's primary grain-producing areas. Such dual anthropogenic pressure facilitates the redistribution and potential accumulation of both naturally occurring radioactive materials and technogenic radionuclides within the soil cover. Radionuclide measurements were conducted using a gamma-radiometer (RKG-AT 1320C). The specific activities of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , and ^{134}Cs were determined. The study established that the mean specific activities of ^{40}K , ^{226}Ra , and ^{232}Th are within or below the global average values reported by UNSCEAR. Furthermore, all calculated values for the effective specific activity (A_{eff}) comply with Class I radiation safety standards (NRB-99). These findings indicate a favorable radiological environment and a low level of potential risk. The concentrations of technogenic ^{137}Cs , with the exception of isolated anomalies, do not exceed regulatory limits. Specific localized features: including elevated ^{40}K levels in the lower horizons of the Yubileinoe site, a ^{226}Ra anomaly at the Moskovsky site, and the atypical deep-seated distribution of ^{137}Cs at the Amankaragay site, are of significant scientific interest and necessitate further investigation to determine their genesis. It is recommended to implement periodic monitoring at sites with identified anomalies and to expand research efforts to territories adjacent to the region's mining facilities. The data obtained constitute the first systematic radioecological database for agricultural soils in the Kostanay region and may serve as reference values for the development of regional radioecological monitoring programs.

Key words: radionuclides, radiation safety, gamma radiation, radioecological assessment.

Введение. Земная поверхность постоянно подвергается ионизирующему излучению, из природных и техногенных источников. Основной вклад в фоновое излучение вносят радиоактивные материалы почв, горных пород и отложений [1, с.10], причём на долю ^{232}Th , ^{40}K и продуктов их распада приходится порядка 80% наземного излучения [2, с.320; 3, с.597; 4, с.78]. Согласно данным Научного комитета, средняя годовая доза облучения от природных источников составляет 2,4 мЗв на человека, из которых около 0,48 мЗв (20%) наземное гамма-излучение [1, с.11; 5, с.217]. Однако значения изменяются в зависимости от геологии, типа почв, географического положения и характера антропогенной нагрузки [6, с.308; 7, с.312].

В регионах, где ведётся интенсивная горная добыча, переработка руд или масштабное земледелие, естественное радиологическое равновесие почв нарушается. Горные работы поднимают на поверхность глубинные породы, обогащённые ураном и торием, перераспределяя радионуклиды в биосферу [6, с.312; 8, с.194]. Сходный эффект даёт систематическое применение фосфатных удобрений, которые повышают концентрации ^{226}Ra в пахотных почвах [9, с.4; 10, с.6; 11, с.135]. В регионах, испытывающих подобную двойную техногенную нагрузку, радиоэкологический мониторинг почв становится необходимым для оценки экологических рисков и защиты здоровья населения.

Превышение фоновых концентраций обусловлено антропогенными факторами. Основные факторы перераспределения радионуклидов в районах с развитым горнодобывающим сектором: физическое нарушение, перемещение вскрышных пород и отходов, обогащённых природными радионуклидами; распространение радиоактивной от открытые разработок, обогатительных фабрик и хвостохранилищ [8, с.194; 15, с.15-16]. В Казахстане десятилетия интенсивной добычи урана оставили значительные радиологические последствия. Были выявлены повышенные концентрации ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах вблизи выведенных из эксплуатации рудников Северо-Казахстанской области [16, с.50]. На бывшем предприятии по переработке тория в Усть-Каменогорске зафиксированы дозы до 1,00 мкЗв/ч, что значительно выше регионального фона 0,16-0,18 мкЗв/ч, а активность альфа-излучателей в поверхностном слое достигала 583-5275 Бк/кг [17, с. 24].

Сельское хозяйство – ещё один значимый путь поступления радионуклидов в почву. Фосфатные удобрения естественным образом обогащены нуклидами уранового ряда и при систематическом внесении повышают содержание ^{226}Ra в пахотных землях [11, с.135; 18, с.436]. Было выявлено, что калийные и суперфосфатные удобрения, применяемые для компенсации дефицита азота, фосфора и калия, содержат повышенные концентрации радионуклидов и со временем загрязняют сельскохозяйственные угодья [19, с.11].

За последнее десятилетие накоплен обширный массив сравнительных данных по естественной радиоактивности почв. Среднемировые удельные активности составляют 33, 45 и 420 Бк/кг для ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K соответственно (диапазоны: 12-120, 7-50 и 100-1200 Бк/кг), а средняя поглощённая доза наземного гамма-излучения – около 55-59 нГр/ч [1, с.120-121].

Было обнаружено, что при формально безопасных индексах опасности (<1) показатели поглощённой дозы, годовой эффективной дозы и ELCR заметно превышали среднемировые значения [19, с.11], что является важным напоминанием о необходимости региональных исследований даже при номинально безопасных индексах.

Особое значение для данной работы имеют степные и лесостепные биомы Евразии. Была зафиксирована двукратная изменчивость эквивалентной дозы (29-72 нЗв/ч) на участках вблизи Белорусской АЭС [14, с.496, 499]. Концентрации ^{40}K на лугах составляли 284-663 Бк/кг (среднее ≈ 480 Бк/кг). Эти данные из сходных биоклиматических условий служат полезной основой для интерпретации результатов по Костанайской области Казахстана, занимающей аналогичные ландшафты.

Также было выявлено, что физические свойства почвенной матрицы (плотность, влажность и толщина слоя) существенно влияют на мощность внешней дозы на поверхности почвы [20, с.70]. Это подчеркивает важность учета типа почвы при интерпретации полевых дозиметрических данных, что особенно актуально для Костанайской области, где распространены черноземы, темно-каштановые почвы и солонцовые комплексы.

Казахстан занимает уникальное положение в мировой радиоэкологии по трем факторам: статусу ведущего мирового производителя урана (около 30% мировых запасов урана), последствия масштабных испытаний ядерного оружия на Семипалатинском ядерном полигоне (СИЯП) и активной горнодобывающей и металлургической промышленности [16, с.50; 21, с.19].

Радиологические последствия СИЯП, где было проведено 456 ядерных испытаний (включая 116 атмосферных испытаний), были подробно изучены [1, с.180; 13, с.682]. Среднее содержание ^{137}Cs в обширных районах вокруг СИЯП составляло 3500 Бк/м² (2000 г.), в несколько десятков раз выше, чем в Японии [1, с.180; 13, с.673]. Составленная карта распределения ^{137}Cs в приграничном регионе Казахстана и Китая выявила сильное загрязнение вдоль траекторий радиоактивных осадков от взрывов СИЯП [12, с.540].

Хотя Семипалатинский полигон расположен в северо-восточной части Казахстана, далеко от Костанайской области, нельзя исключить перенос радионуклидов на большие расстояния, что следует учитывать при оценке регионального радиологического фона. Более актуальными являются исследования последствий добычи урана в Северном Казахстане. Выявлены аномальные зоны с повышенным содержанием ^{226}Ra в почве, что свидетельствует о сохраняющемся радиологическом воздействии горнодобычи спустя десятилетия после прекращения работ [16, с.50]. Обнаружены повышенные дозы гамма-излучения, связанные с заброшенными радиоактивными фильтрующими материалами и отходами [22, с.11].

Радиоэкологическое исследование районов добычи урана и соседних населенных пунктов в Северном Казахстане способствовало созданию первоначальной базы данных распределения радионуклидов в почвах и воде [23, с.63]. Установлено, что глубокие слои почвы (ниже 60 см) содержат значительно более высокие концентрации радионуклидов, чем поверхностные слои, что указывает на вертикальную миграцию техногенных отходов, а рассчитанные индексы радиологической опасности показывают повышение риска развития рака в течение жизни для местного населения [17, с.24]. Эти результаты в совокупности иллюстрируют неоднородный и часто специфичный для отдельных участков характер радиологического загрязнения по всему Казахстану, подчеркивая необходимость локализованных оценок.

Костанайская область, расположенная на северо-западе Казахстана на стыке Тургайской низменности и Зауральского плато, сочетает в себе факторы, требующие целенаправленного радиоэкологического изучения. В регионе сосредоточены крупные месторождения железной руды (Рудное, Качарское), бокситов и асбеста, разработка которых сопровождается образованием значительных объемов вскрышных пород и пылевых выбросов. Одновременно область является одним из ведущих зернопроизводящих регионов страны, где интенсивное земледелие предполагает систематическое внесение минеральных, в том числе фосфатных, удобрений. Такое двойное техногенное давление, горнодобыча и сельское хозяйство создаёт условия для перераспределения и потенциального накопления природных и антропогенных радионуклидов в почвенном покрове.

Несмотря на обширную мировую базу данных по радиоактивности почв в агропромышленных и горнодобывающих регионах и значительный объём казахстанских исследований радиологического наследия урановой добычи и ядерных испытаний, данные по Костанайской области остаются фрагментарными. Результаты из других частей страны нельзя напрямую перенести на этот регион ввиду принципиальных различий в геологии, типе добываемого сырья (железная руда и бокситы, а не уран и торий), интенсивности земледелия и почвенных условиях. До настоящего времени не опубликовано систематических данных по удельной активности ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в сельскохозяйственных почвах области. Этот пробел затрудняет надёжную оценку радиологических рисков для населения и сельхозпродукции одного из ключевых экономических регионов Казахстана.

Цель исследования: восполнение пробела путем инструментального определения удельной активности радионуклидов и расчета показателей радиационной безопасности для сельскохозяйственных почв Костанайской области.

Задачи:

1. Провести обзор литературных данных по радиоактивности почв в агропромышленных и горнодобывающих регионах.
2. Определить удельную активность ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в почвах по генетическим горизонтам и рассчитать показатели радиационной безопасности (Аэфф). Сравнить результаты со среднемировыми значениями НКДАР ООН и нормативами НРБ-99.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования были 37 почвенных образцов, с 6 опорных площадок (Федоровка, Московский, Рудный, Новонезинка, Аманкарагай, Юбилейное) Костанайской области. При отборе проб почвы соблюдались государственные стандарты (ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического,

гельминтологического анализа»). Пробы отбирались послойно с учетом морфологических особенностей почвенного профиля. На каждой опорной площадке отбирались индивидуальные пробы, соответствующие выделенным генетическим горизонтам.

Измерение радионуклидов проводили на гамма-радиометре РКГ-АТ 1320С. Определение удельной активности проводилось методом гамма-радиометрии фиксации гамма-излучения естественных и техногенных изотопов. Подготовленный почвенный образец (предварительно высушенный при температуре $\leq 105^\circ\text{C}$, измельченный и просеянный через сито не больше 1 мм) поместили в мерный сосуд Маринелли объемом 1л, что позволяет обеспечить воспроизводимость геометрии измерений. Прибор регистрирует гамма-кванты ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , составляя энергетический спектр, что позволяет определить тип радионуклида и его активность.

Эффективная удельная активность (Аэфф) рассчитывалась для каждой пробы по формуле 1, установленной НРБ-99.

$$\text{Аэфф} = A(^{226}\text{Ra}) + 1,31 \cdot A(^{232}\text{Th}) + 0,085 \cdot A(^{40}\text{K}) \quad (1)$$

где, $A(^{226}\text{Ra})$, $A(^{232}\text{Th})$ и $A(^{40}\text{K})$ – удельные активности (УА) соответствующих радионуклидов в пробе (Бк/кг). Коэффициенты 1,31 и 0,085 учитывают биологическую опасность излучения ^{232}Th и ^{40}K относительно ^{226}Ra . Не определенные УА приравнивались к нулю.

Максимальное Аэфф – максимальное значение Аэфф среди всех проб (горизонтов) данной площадки.

Результаты и обсуждения. В результате исследования методом полупроводниковой гамма-спектрометрии были определены удельные активности ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{134}Cs отобранных в 37 почвенных образцах, с 6 опорных площадок Костанайской области. Площадки были выбраны таким образом, чтобы охватить основные типы почв и ландшафтов региона: от чернозёмных массивов до солонцовых комплексов. Результаты исследования позволяют составить первичную радиоэкологическую характеристику почвенного покрова территории и оценить его соответствие действующим нормативам радиационной безопасности.

Таблица 1 – Удельная активность радионуклидов в почвах по генетическим горизонтам

Площадка	Проба	Горизонт	Глубина, см	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{137}Cs	^{134}Cs	Аэфф	Класс НРБ
Рудный	РУ-1	Ap'	0-5	376	н/о	н/о	28.80	н/о	32.0	I
Рудный	РУ-2	Ap''	5-25	299	10.5	17.2	3.00	н/о	58.4	I
Рудный	РУ-3	AB	25-42	266	10.5	15.7	4.41	н/о	53.7	I
Рудный	РУ-4	AB_Ca	42-73	446	19.4	24.4	0.00	0.62	89.3	I
Рудный	РУ-5	B_Ca	73-83	413	25.8	26.0	0.00	0.00	95.0	I
Рудный	РУ-6	BC_Ca	83-122	520	н/о	н/о	38.30	н/о	44.2	I
Аманкарагай	АМК-1	O	0-4	187	15.9	10.0	0.00	н/о	44.9	I
Аманкарагай	АМК-2	A	4-29	212	н/о	н/о	8.90	7.80	18.0	I
Аманкарагай	АМК-3	AB	29-46	272	н/о	н/о	27.40	н/о	23.1	I
Аманкарагай	АМК-4	B	46-80	361	н/о	н/о	117.00	н/о	30.7	I
Аманкарагай	АМК-5	—	0-5	165	10.8	10.4	0.00	н/о	38.4	I
Аманкарагай	АМК-6	—	0-10	236	н/о	н/о	18.80	н/о	20.1	I
Аманкарагай	АМК-7	—	0-10	172	9.8	12.2	0.00	0.00	40.4	I
Юбилейное	ЮБ-1	Ad	0-14	470	н/о	н/о	28.60	0.00	40.0	I
Юбилейное	ЮБ-2	A	14-39	430	н/о	н/о	23.30	0.00	36.6	I
Юбилейное	ЮБ-3	AC	39-65	458	н/о	н/о	24.30	0.00	38.9	I
Юбилейное	ЮБ-4	[A]	65-120	687	н/о	н/о	48.80	0.00	58.4	I
Юбилейное	ЮБ-5	[ACg]	120-130	466	н/о	н/о	36.10	0.00	39.6	I
Новонежинка	НО-1	Ap	0-20	370	н/о	н/о	12.00	19.40	31.5	I
Новонежинка	НО-2	A_Ca	20-39	394	н/о	н/о	46.50	0.00	33.5	I
Новонежинка	НО-3	AB_Ca	39-63	443	н/о	н/о	50.90	0.00	37.7	I
Новонежинка	НО-4	B_Ca	63-104	274	32.1	39.4	0.00	0.00	107.0	I
Новонежинка	НО-5	BC_CaCs	104-110	309	40.7	49.3	0.02	н/о	131.5	I

Продолжение таблицы 1

Новонежинка	НО-6	—	0-10	158	21.5	30.5	0.11	0.85	74.9	I
Московский	МСК-1	Ар'	0-5	342	174.0	30.1	2.84	н/о	242.5	I
Московский	МСК-2	Ар''	5-30	332	15.1	33.5	2.75	н/о	87.2	I
Московский	МСК-3	A	30-43	320	17.2	32.7	0.00	н/о	87.2	I
Московский	МСК-4	AB	43-70	322	20.6	35.0	0.00	н/о	93.8	I
Московский	МСК-5	B	70-106	296	22.9	30.2	0.00	0.10	87.6	I
Московский	МСК-6	BC_Ca	106-120	359	25.9	31.1	2.28	н/о	97.2	I
Московский	МСК-7	C_Ca	120-130	328	18.9	27.8	1.49	н/о	83.2	I
Фёдоровка	ФЕ-1	Ad	0-11	559	н/о	н/о	41.20	н/о	47.5	I
Фёдоровка	ФЕ-2	A	11-29	408	19.9	28.5	0.00	0.00	91.9	I
Фёдоровка	ФЕ-3	AB(Sn)	29-43	535	н/о	н/о	43.20	н/о	45.5	I
Фёдоровка	ФЕ-4	AB_Ca	43-53	352	21.1	26.2	0.00	н/о	85.3	I
Фёдоровка	ФЕ-5	B_Ca	53-75	337	20.2	25.7	0.00	н/о	82.5	I
Фёдоровка	ФЕ-6	BC_CaCs	75-85	384	23.3	28.6	0.00	н/о	93.4	I

В целом полученные данные свидетельствуют о том, что радиационная обстановка на исследованных территориях является благоприятной: все площадки соответствуют I классу по НРБ-99 (Аэфф ≤ 370 Бк/кг), а средние удельные активности основных природных радионуклидов находятся в пределах или ниже среднемировых значений НКДАР ООН.

Таблица 2 – Сводная статистика и оценка радиационной безопасности

Площадка	^{40}K (M $\pm\sigma$)	^{226}Ra (M $\pm\sigma$)	^{232}Th (M $\pm\sigma$)	^{137}Cs (M $\pm\sigma$)	Аэфф (M $\pm\sigma$)	Аэфф (макс)	Класс НРБ
Рудный	387 $\pm$ 94	16.6 $\pm$ 7.5	20.8 $\pm$ 5.1	12.4 $\pm$ 16.7	62 $\pm$ 25	95	I класс
Аманкарагай	229 $\pm$ 69	12.2 $\pm$ 3.3	10.9 $\pm$ 1.2	24.6 $\pm$ 42.1	31 $\pm$ 11	45	I класс
Юбилейное	502 $\pm$ 104	нет данных	нет данных	32.2 $\pm$ 10.6	43 $\pm$ 9	58	I класс
Новонежинка	325 $\pm$ 101	31.4 $\pm$ 9.6	39.7 $\pm$ 9.4	18.3 $\pm$ 24.1	69 $\pm$ 43	132	I класс
Московский	328 $\pm$ 20	42.1 $\pm$ 58.3	31.5 $\pm$ 2.4	1.3 $\pm$ 1.3	111 $\pm$ 58	243	I класс
Фёдоровка	429 $\pm$ 95	21.1 $\pm$ 1.5	27.2 $\pm$ 1.5	14.1 $\pm$ 21.8	74 $\pm$ 22	93	I класс
НКДАР ООН/НРБ	400	35	30	25	370	370	Норматив

Средние удельные активности ^{40}K варьировали от 229 $\pm$ 69 Бк/кг (Аманкарагай) до 502 $\pm$ 104 Бк/кг (Юбилейное), при среднемировом эталоне 400 Бк/кг. Площадки Юбилейное (502 Бк/кг) и Федоровка (429 Бк/кг) превышают глобальный уровень, тогда как Аманкарагай и Новонежинка (325 Бк/кг) остаются заметно ниже уровня. Повышенные концентрации ^{40}K на площадках Юбилейное и Федоровка, вероятно, отражают минералогический состав материнских пород или длительное систематическое внесение калийных удобрений, что согласуется с выводами Kaintura, S.S. и др. [19, с.11].

Содержание ^{226}Ra в среднем составило от 12,2 $\pm$ 3,3 Бк/кг (Аманкарагай) до 42,1 $\pm$ 58,3 Бк/кг (Московский). Большинство площадок показали значения ниже среднемирового эталона (35 Бк/кг). Аномально высокое значение ^{226}Ra в пробе МСК-1 (Ар' – 174 Бк/кг) превышает среднемировой уровень в 5 раз (Таб. 1). Концентрация ^{226}Ra в верхнем, пахотном горизонте при её практическом отсутствии в материнских породах с высокой вероятностью указывает на экзогенный источник – прежде всего, систематическое внесение фосфатных удобрений [9, с.4; 11, с.135].

Удельная активность ^{232}Th в среднем варьировала от нулевых значений (Юбилейное, где торий не обнаружен) до 39,7 $\pm$ 9,4 Бк/кг (Новонежинка). Площадки Новонежинка и Московский заметно

превышают среднемировой эталон (30 Бк/кг), что может быть обусловлено геохимическими особенностями подстилающих пород Тургайской низменности и Зауральского плато.

Особый интерес представляет распределение техногенного ^{137}Cs . Среднее содержание ^{137}Cs по площадкам варьировало от $1,3 \pm 1,3$ Бк/кг (Московский) до $32,2 \pm 10,6$ Бк/кг (Юбилейное). Значение Аманкарагай варьировало от $24,6 \pm 42,1$ Бк/кг, а Юбилейное от $32,2 \pm 10,6$ Бк/кг.

Максимальное единичное значение ^{137}Cs зафиксировано в горизонте В (46–80 см) площадки Аманкарагай – 117 Бк/кг, что в 4,7 раза превышает среднемировые значения НКДАР ООН (Таб. 1). Присутствие ^{137}Cs в глубоком горизонте В, а не в поверхностных слоях, указывает на его вертикальную миграцию по почвенному профилю за десятилетия, прошедшие после выпадений. Данное наблюдение согласуется с результатами Mapakhov, D.V. и др. [20, с.70].

Источниками ^{137}Cs в почвах Костанайской области являются глобальные атмосферные осадки от ядерных испытаний середины XX века, возможно региональный перенос с территории СЯЯП. Хотя СЯЯП расположен более чем в 1000 км к востоку, Yamamoto, M. и др., Imanaka, T. и др., задокументировали значительное распространение ^{137}Cs по траекториям радиоактивных осадков [12, с.540; 13, с.675]. Тем не менее зафиксированные уровни ^{137}Cs в Костанайской области значительно ниже, чем <37000 Бк/м², установленные для районов, непосредственно прилегающих к полигону, что подтверждает преимущественно глобальный характер цезиевого загрязнения в данном регионе.

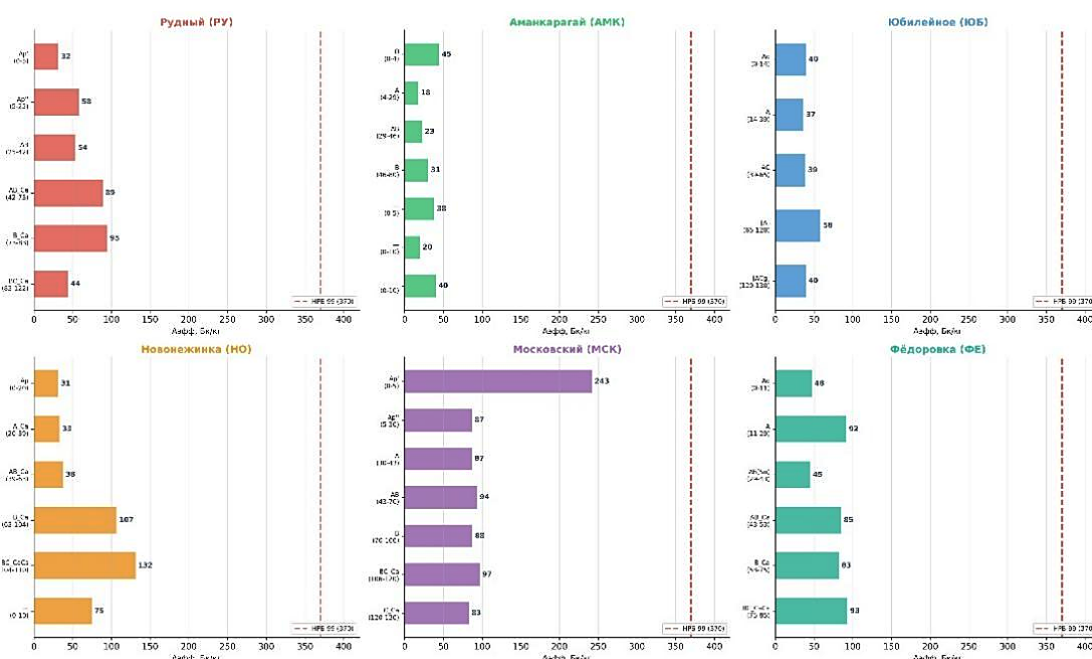


Рисунок 1 – Эффективная удельная активность (Аэфф) по генетическим горизонтам (сравнение с нормативом НРБ-99 (I класс ≤ 370 Бк/кг))

Значения Аэфф, рассчитанные по формуле $A_{эфф} = A(^{226}\text{Ra}) + 1,31 \cdot A(^{232}\text{Th}) + 0,085 \cdot A(^{40}\text{K})$, варьировали от 18,0 до 243 Бк/кг в индивидуальных пробах (Рис. 1), при средних по площадкам от 31 ± 11 Бк/кг (Аманкарагай) до 111 ± 58 Бк/кг (Московский) (Таб. 2). Все значения, включая максимальное (242,5 Бк/кг, проба МСК-1), находятся ниже порога I класса по НРБ-99 (370 Бк/кг), что означает: почвы всех исследованных площадок пригодны для любых видов использования без ограничений (Рис. 1).

Тем не менее внутри- и межплощадочная изменчивость Аэфф весьма значительна. Московский демонстрирует наивысшее среднее значение (111 ± 58 Бк/кг) (Таб. 2). Площадка Новонежинка также отличается высокими значениями Аэфф в нижних горизонтах (В_Са – 107 Бк/кг, ВС_СаСs – 132 Бк/кг), что обусловлено повышенным содержанием ^{232}Th в материнской породе (Рис. 1).

Распределение Аэфф по почвенному профилю выявляет две контрастные модели. На площадках Рудный и Федоровка Аэфф увеличивается от верхних горизонтов к средним (максимум в горизонтах АВ_Са и В_Са), а затем снижается к материнской породе – типичная для ненарушенных почв картина, определяемая геохимическим перераспределением природных радионуклидов. Напротив, на площадке Московский максимум Аэфф приходится на самый верхний горизонт (242,5 Бк/кг), что дополнительно подтверждает антропогенное происхождение аномалии (Таб. 1).

Обобщенный анализ сводной статистики позволяет провести оценку радиационной безопасности почв Костанайской области. В качестве интегрального показателя была использована эффективная удельная активность (Аэфф), которая учитывает вклад природных радионуклидов с весовыми коэффициентами. Несмотря на отсутствие нормативных значений Аэфф для почв в НРБ-99, показатель применим в качестве сравнительного критерия радиационной опасности.

Все значения Аэфф не превышают 370 Бк/кг, соответствуют безопасному уровню, принятому для строительных материалов, и могут рассматриваться как индикатор низкой радиационной опасности исследуемых почв.

Наиболее информативным с точки зрения оценки «запаса безопасности» является показатель максимального Аэфф (Аэфф макс) для каждой площадки. Максимальные значения составили: Аманкарагай – 45 Бк/кг, Юбилейное – 58 Бк/кг, Федоровка – 93 Бк/кг, Рудный – 95 Бк/кг, Новонежинка – 132 Бк/кг, Московский – 243 Бк/кг. Даже наихудшее единичное значение – 243 Бк/кг – составляет лишь 66% от порога I класса, что обеспечивает значительный запас безопасности (Таб. 2).

Присвоение I класса НРБ-99 всем шести площадкам означает, что исследованные почвы пригодны для любых видов использования, включая жилищное строительство и сельскохозяйственное производство, без каких-либо ограничений. Это практически значимый результат для Костанайской области – одного из ведущих зернопроизводящих регионов Казахстана.

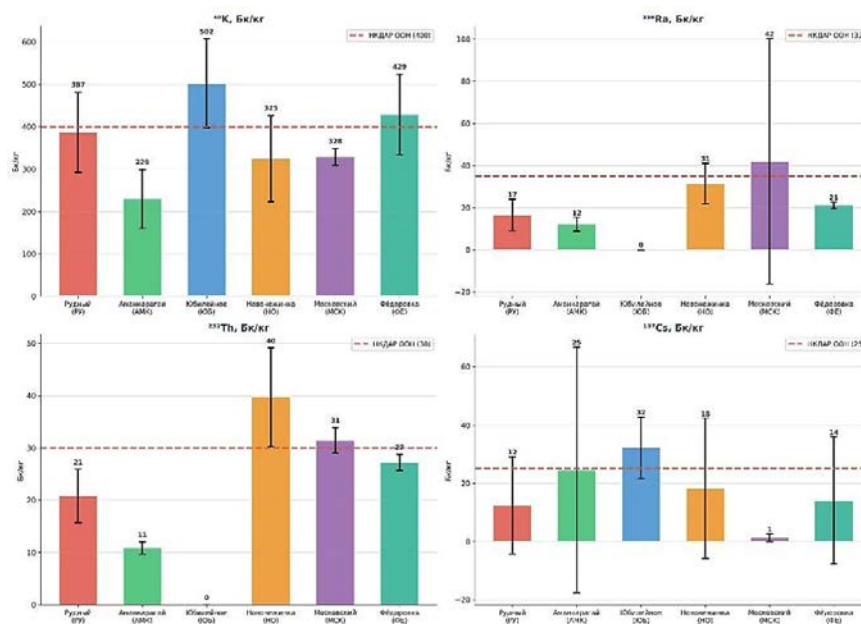


Рисунок 2 – Сравнение средних удельных активностей с эталонами НКДАР ООН

Сопоставление средних удельных активностей радионуклидов по шести площадкам со среднемировыми значениями НКДАР ООН: ^{40}K = 400 Бк/кг, ^{226}Ra = 35 Бк/кг, ^{232}Th = 30 Бк/кг, ^{137}Cs = 25 Бк/кг, выявляет ряд закономерностей.

По ^{40}K наблюдается выраженная дифференциация площадок. На площадках Юбилейное и Федоровка наблюдается небольшое превышение. Рудный близок к эталону. Московский, Новонежинка занимают промежуточное положение. Аманкарагай выделяется существенно пониженным содержанием ^{40}K , что, вероятно, связано с механическим составом почв и особенностями растительного покрова лесного массива.

По ^{226}Ra картина принципиально иная. На площадке Московский наблюдается заметное превышение эталона. Этот результат целиком определяется единственной аномальной пробой МСК-1 с концентрацией ^{226}Ra = 174 Бк/кг в верхнем пахотном горизонте Ap' , что в 5 раз превышает среднемировой уровень (Таб. 1). Остальные пять площадок демонстрируют пониженное содержание. Концентрация ^{226}Ra исключительно в верхнем пахотном горизонте при практическом отсутствии в нижележащих слоях однозначно указывает на экзогенный антропогенный источник – наиболее вероятно систематическое внесение фосфатных удобрений [9, с.4; 11, с.135].

По ^{232}Th площадки четко разделяются на две группы. Новонежинка и Московский превышают эталон. Рудный и Федоровка находятся ниже эталона, а Юбилейное отличается полным отсутствием тория. Повышенное содержание ^{232}Th в Новонежинке может быть связано с геохимическими особенностями пород Тургайской низменности, содержащих глинистые минералы, обогащенные торием.

По техногенному ^{137}Cs выявлена наиболее контрастная картина. Среднее содержание варьирует от $1,3 \pm 1,3$ Бк/кг (Московский) до $32,2 \pm 10,6$ Бк/кг (Юбилейное). Площадка Юбилейное стабильно превышает среднемировой эталон, а Аманкарагай находится на его границе. Остальные площадки находятся существенно ниже эталона.

Вывод. Проведенный гамма-спектрометрический анализ 37 почвенных образцов с 6 площадок Костанайской области показал, что все значения Аэфф соответствуют I классу радиационной безопасности (НРБ-99), что свидетельствует о благоприятной радиационной обстановке и низком уровне потенциального риска.

С практической точки зрения результаты исследования позволяют сделать несколько важных выводов:

- 1) почвы всех шести обследованных площадок Костанайской области безопасны для сельскохозяйственного использования и не требуют ограничительных мер;
- 2) выявленная точечная аномалия ^{226}Ra на площадке Московский указывает на необходимость включения радиологического контроля в систему агрохимического мониторинга при интенсивном применении фосфатных удобрений;
- 3) обнаруженная вертикальная миграция ^{137}Cs до горизонта В (46-80 см) на площадке Аманкарагай, имеет значение для оценки глубины корневого захвата радионуклидов и потенциального перехода в пищевую цепь по пути почва → растение → потребление, описанному Mohamed, A.T. и др. [23]. Для уточнения данного вопроса целесообразно провести дополнительные исследования перехода радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные растения;
- 4) повышенное содержание ^{40}K в нижних горизонтах площадки Юбилейное, требует дополнительных исследований для установления происхождения.

Настоящее исследование формирует первую базу радионуклидного состава сельскохозяйственных почв Костанайской области, которая может быть отправной точкой для долгосрочного мониторинга. Систематические данные о начальных уровнях ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{137}Cs позволят в дальнейшем выявлять динамику накопления, выноса радионуклидов и своевременно фиксировать изменения радиационной обстановки в одном из ключевых зернопроизводящих регионов Казахстана.

Тем не менее, рекомендуется организация периодического мониторинга на участках с выявленными аномалиями, а также расширение исследований на территориях, прилегающих к горнодобывающим объектам региона.

Благодарности: Научные исследования выполнялись в рамках грантового программно-целевого финансирования исследований ученых по проекту на 2024-2026 годы по теме BR24992839 «Исследование воздействия экотоксикантов и инновационных агротехнологий на сельскохозяйственные земли и продукцию Костанайской области».

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.** Report to the General Assembly, with Annexes [Text] / UNSCEAR. – New York: United Nations, 2000.
2. **Determination of radiobiological impact parameters in soil from sugarcane farmland cultivated with waste water in Jibiya, Katsina State, Nigeria** [Text] / M. Ndawashi [и др.] // Science Forum (Journal of Pure and Applied Sciences). – 2023. – Vol. 23. – P. 320-327.
3. **Background radiation level measurement using hand held dosimeter and gamma spectrometry in Ijebu-Ife, Ogun State Nigeria** [Text] / P. O. Olagbaju [и др.] // International Journal of Radiation Research. – 2021. – Vol. 19, № 3.
4. **Radionuclide concentrations and excess lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in tailing enriched soil around Maiganga coal mine, Northeast-Nigeria** [Text] / M. T. Kolo [и др.] // International Journal of Radiation Research. – 2017. – Vol. 15, № 1. – P. 71-80.
5. **Al-Khawlan A. H. Review on studies in natural background radiation** [Text] / A. H. Al-Khawlan, A. R. Khan, J. M. Pathan // Radiation Protection and Environment. – 2019. – https://www.academia.edu/38358706/Review_on_studies_in_natural_background_radiation (Дата обращения 12 марта 2026г.).
6. **Sowole O. Radioactivity assessment of ^{40}K , ^{238}U and ^{232}Th in surface soil samples of Igbokoda, South-West Nigeria** [Text] / O. Sowole, J. Ogunjobi // Tanzania Journal of Science. – 2019. – Vol. 45, № 3. – P. 306-316.
7. **Natural radioactivity and the associated exposure due to gamma radiation depend primarily on soil type** [Text] / M. Belivermis [и др.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2009.
8. **Aluko T. J. Evaluation of naturally occurring radionuclides concentration and associated radiological health risks in agricultural soils from Iwerekere, Oyo State, Nigeria** [Text] / T. J. Aluko, P. O. Olagbaju, F. E. Ikuemonisan // Jewel Journal of Scientific Research. – 2025. – Vol. 10, № 2. – P. 181-196.
9. **Gamma analysis of agricultural soils in Jazan** [Text] / A. Azazi [и др.] // Journal of Hazardous Materials Advances. – 2025. – Vol. 18. – P. 100729.
10. **Alzubaidi G. Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards in agricultural and virgin soil in the State of Kedah, North of Malaysia** [Text] / G. Alzubaidi, F. B. Hamid, I. Abdul Rahman // Scientific World Journal. – 2016. – Vol. 2016. – P. 6178103.
11. **Jibiri N. N. Activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in brands of fertilisers used in Nigeria** [Text] / N. N. Jibiri, K. P. Fasae // Radiation Protection Dosimetry. – 2012. – Vol. 148, № 1. – P. 132-137.
12. **Current levels and distribution of ^{137}Cs and Pu isotopes in soil on the Kazakhstan territory of the Kazakhstan-Chinese border** [Text] / M. Yamamoto [и др.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2004. – Vol. 261. – P. 533-545.

13. Reconstruction of local fallout composition and gamma-ray exposure in a village contaminated by the first USSR nuclear test in the Semipalatinsk nuclear test site in Kazakhstan [Text] / T. Imanaka [и др.] // *Radiation and Environmental Biophysics*. – 2010. – Vol. 49. – P. 673-684.
14. Ambient dose equivalent rates of gamma radiation from natural radionuclides and ^{137}Cs at grasslands and forests in the area of the Belarusian NPP in the pre-commissioning period (2019) [Text] / V. Ramzaev [и др.] // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2024. – Vol. 200, № 5. – P. 496-503.
15. Assessment of natural radionuclide distribution pattern and radiological risk from rocks in Precambrian Oban Massif, Southeastern Nigeria [Text] / E. E. Ekpe [и др.] // *Minerals*. – 2022. – Vol. 12. – P. 312.
16. Impact of uranium mining on radiation levels in Kazakhstan: a case study of two major provinces [Text] [Text] / M. Bakhtin [и др.] // Вестник Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва. Серия Физика. Астрономия. – 2025. – № 2 (151). – С. 45-59.
17. Evaluation of long-term environmental impact and radiological risks at a former thorium and rare earth site in North-Eastern Kazakhstan [Text] / Z. Idrisheva [и др.] // *Sustainability*. – 2025. – Vol. 17. – P. 8569.
18. Natural radioactivity levels and radiological hazards indices of chemical fertilizers commonly used in Upper Egypt [Text] / M. A. M. Uosif [и др.] // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. – 2014.
19. Gamma-spectroscopic assessment of radionuclides and radiological hazards in undisturbed and cultivated soils of Rupnagar, Punjab, India [Text] / S. S. Kaintura [и др.] // *Nuclear Engineering and Technology*. – 2025.
20. Почвы как компонент, определяющий ослабление дозовых нагрузок на биоту в условиях радиоактивного загрязнения [Text] / Д. В. Манахов [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2021. – № 3-4. – С. 69-74.
21. Бойцов А. В. Развитие мировой урановой промышленности – вызовы времени [Text] / А. В. Бойцов // Уран: геология, ресурсы, производство: материалы V Международного симпозиума. – 2021. – С. 11-22.
22. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia [Text] / P. Stegnar [и др.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2012. – DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.12.005.
23. Комплексное радиоэкологическое исследование территорий урановых рудников и близлежащих населённых пунктов Северного Казахстана [Text] / П. Казымбет [и др.] // Астана медициналық журналы. – 2005. – № 3. – С. 61-65.

REFERENCES:

1. UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with Annexes, New York, United Nations, 2000.
2. Ndawashi M., et al. Determination of radiobiological impact parameters in soil from sugarcane farmland cultivated with waste water in Jibiya, Katsina State, Nigeria. *Science Forum (Journal of Pure and Applied Sciences)*, 2023, vol. 23, pp. 320-327.
3. Olagbaju P.O., et al. Background radiation level measurement using hand held dosimeter and gamma spectrometry in Ijebu-Ife, Ogun State Nigeria. *International Journal of Radiation Research*, 2021, vol. 19, iss. 3.
4. Kolo M.T., et al. Radionuclide concentrations and excess lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in tailing enriched soil around Maiganga coal mine, Northeast-Nigeria. *International Journal of Radiation Research*, 2017, vol. 15, iss. 1, pp. 71-80.
5. Al-Khawlan A.H., Khan A.R., Pathan J.M. Review on studies in natural background radiation. *Radiation Protection and Environment*, 2019. Available at: https://www.academia.edu/38358706/Review_on_studies_in_natural_background_radiation (accessed 12 March 2026)
6. Sowole O., Ogunjobi J. Radioactivity assessment of ^{40}K , ^{238}U and ^{232}Th in surface soil samples of Igbokoda, South-West Nigeria. *Tanzania Journal of Science*, 2019, vol. 45, iss. 3, pp. 306-316.
7. Belivermis M., et al. Natural radioactivity and the associated exposure due to gamma radiation depend primarily on soil type. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2009.
8. Aluko T.J., Olagbaju P.O., Ikuemonisan F.E. Evaluation of naturally occurring radionuclides concentration and associated radiological health risks in agricultural soils from Iwerele, Oyo State, Nigeria. *Jewel Journal of Scientific Research*, 2025, vol. 10, iss. 2, pp. 181-196.
9. Azazi A., et al. Gamma analysis of agricultural soils in Jazan. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2025, vol. 18, art. 100729.
10. Alzubaidi G., Hamid F.B., Abdul Rahman I. Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards in agricultural and virgin soil in the State of Kedah, North of Malaysia. *Scientific World Journal*, 2016, vol. 2016, art. 6178103.
11. Jibiri N.N., Fasae K.P. Activity concentrations of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in brands of fertilisers used in Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*, 2012, vol. 148, iss. 1, pp. 132-137.

12. Yamamoto M., et al. Current levels and distribution of ^{137}Cs and Pu isotopes in soil on the Kazakhstan territory of the Kazakhstan-Chinese border. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2004, vol. 261, pp. 533-545.
13. Imanaka T., et al. Reconstruction of local fallout composition and gamma-ray exposure in a village contaminated by the first USSR nuclear test in the Semipalatinsk nuclear test site in Kazakhstan. *Radiation and Environmental Biophysics*, 2010, vol. 49, pp. 673-684.
14. Ramzaev V., et al. Ambient dose equivalent rates of gamma radiation from natural radionuclides and ^{137}Cs at grasslands and forests in the area of the Belarusian NPP in the pre-commissioning period (2019). *Radiation Protection Dosimetry*, 2024, vol. 200, iss. 5, pp. 496-503.
15. Ekpe E.E., et al. Assessment of natural radionuclide distribution pattern and radiological risk from rocks in Precambrian Oban Massif, Southeastern Nigeria. *Minerals*, 2022, vol. 12, art. 312.
16. Bakhtin M., et al. Impact of uranium mining on radiation levels in Kazakhstan: a case study of two major provinces. *Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy Series*, 2025, iss. 2 (151), pp. 45-59.
17. Idrisheva Z., et al. Evaluation of long-term environmental impact and radiological risks at a former thorium and rare earth site in North-Eastern Kazakhstan. *Sustainability*, 2025, vol. 17, art. 8569.
18. Uosif M.A.M., et al. Natural radioactivity levels and radiological hazards indices of chemical fertilizers commonly used in Upper Egypt. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 2014.
19. Kaintura S.S., et al. Gamma-spectroscopic assessment of radionuclides and radiological hazards in undisturbed and cultivated soils of Rupnagar, Punjab, India. *Nuclear Engineering and Technology*, 2025.
20. Manakhov D.V., et al. Pochvy' kak komponent, opredelyayushhij oslablenie dozovy'h nagruzok na biotu v usloviyah radioaktivnogo zagryazneniya [Soils as a component determining the weakening of dose loads on biota under radioactive contamination conditions]. *Problemy' agrokhimii i e'kologii*, 2021, iss. 3-4, pp. 69-74. (In Russian)
21. Bojcov A.V. Razvitie mirovoj uranovoj promy'shlennosti – vy'zovy' vremeni [Development of the global uranium industry – Challenges of the time]. *Materialy' Pyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma "Uran: geologiya, resursy', proizvodstvo"*, 2021, pp. 11-22. (In Russian)
22. Stegnar P., et al. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2012. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.12.005.
23. Kazymbet P., et al. Kompleksnoe radioe'kologicheskoe issledovanie territoriy' uranovy'h rudnikov i blizlezhashhih naselenny'h punktov Severnogo Kazakhstana [Comprehensive radioecological study of uranium mining areas and neighboring settlements in Northern Kazakhstan]. *Astana medicinalykh zhurnaly*, 2005, iss. 3, pp. 61-65. (In Russian)

Сведения об авторах:

Рахимбаев Берик Сағидоллаұлы – доктор технических наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28/1, тел.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.

Жумалынов Куаныш Ансаганович* – докторант ОП «8D05101 – Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая 28/1, тел.: 87072032523, e-mail: zhmalynov.k@mail.ru.

Казбекова Карина Азаматовна – магистр педагогических наук по ОП «7M01503 – Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, пр. Абая 28/1, тел.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.

Лянга Пётр Юрьевич – магистрант ОП «7M05101 – Биология», НАО Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая 28/1, тел.: 87714824866, e-mail: sadhgy19@gmail.com.

Рахимбаев Берік Сағидоллаұлы – техника ғылымдарының докторы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ 28/1, тел.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.

Жумалынов Куаныш Ансаганович* – «8D05101 – Биология» ББ бағдарламасының докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28/1, тел.: 87072032523, e-mail: zhmalynov.k@mail.ru.

Казбекова Карина Азаматқызы – «7M01503 Химия» ББ бойынша педагогика ғылымдарының магистрі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28/1, тел.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.

Лянга Пётр Юрьевич – «7M05101 – Биология» ББ бағдарламасының магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ 28/1, тел.: 87714824866, e-mail: sadhgy19@gmail.com.

Rakhimbayev Berik Sagidollauly – Doctor of Technical Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.

Zhumalynov Kuanysh Ansaganovich – PhD student, “8D05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87072032523, e-mail: zhumalynov.k@mail.ru.*

Kazbekova Karina Azamatovna – Master of Pedagogical Sciences, “7M01503 – Chemistry” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.

Lyanga Pyotr Yuriyevich – Master’s student, “7M05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87714824866, e-mail: sadhgy19@gmail.com.

IRSTI 87.19.31.68.33.29

UDC 631.416.8:543.423

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621199>

ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF THE AGRICULTURAL FIELDS IN THE KAMYSTY DISTRICT USING THE ICP-OES METHOD

Rakhimbayev B.S. – Doctor of Technical Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Naurzbayev Zh.K. – Master of Engineering, Director of the Science and Technology Park, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Nurpeissov A.A. – Master of Engineering, Research Fellow, Research Institute of Innovative Technologies, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

Nurseitova A.M. – Master’s student, “7M05201 – Geoecology and Environmental Management” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

This article focuses on assessing the content of heavy metals (HM) in the soils of agricultural lands in the Kamysty district of the Kostanay region, Republic of Kazakhstan. The relevance of this study stems from the fact that heavy metal contamination of arable land poses a long-term environmental threat due to their accumulation in the soil. The primary objective of the agrochemical survey was to obtain reliable data on the content of priority pollutants – Cd, Pb, As, Cr, Zn and Ni – in the soils of the agricultural lands adjacent to the Altynsarin village. The study focused primarily on the dark chestnut soils of the district, characteristic of the steppe zone of Northern Kazakhstan. Potential sources of heavy metal (HM) input included both anthropogenic factors – the systematic application of fertilizers, which is one of the main sources of HM accumulation in the arable horizon – and natural-technogenic factors: wind-borne transport of mine dust and weathering products from tailings ponds (in particular, the Krasnooktyabrsky Mine) over distances of up to 20–70 km. Background soil samples were collected in the area near the Altynsarin village. The results obtained can serve as a basis for developing measures to reduce environmental risks and ensure the safety of agricultural products in the region.

Keywords: heavy metals, ICP-OES, soil contamination, Kostanay region, Kamysty district, agrochemical survey.

ҚАМЫСТЫ АУДАНЫНЫҢ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛҚАПТАРЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНУЫН ІСР-OES ӘДІСІ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ

Рахимбаев Б.С. – техника ғылымдарының докторы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Науырзбаев Ж.К. – техника ғылымдарының магистрі, Ғылыми-технологиялық парктің директоры, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Нурпеисов А.А. – техника ғылымдарының магистрі, Инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институтының ғылыми қызметкері, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

Нурсеитова Аружан Мағауияқызы – «7M05201 Геоэкология және табиғатты пайдалануды басқару» білім беру бағдарламасының магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті», Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Бұл мақала Қазақстан Республикасы Қостанай облысы Қамысты ауданының ауыл шаруашылығы жерлерінің топырағындағы ауыр металдардың (АМ) мөлшерін бағалауға арналған. Бұл зерттеудің өзектілігі егістік жерлердің ауыр металдармен ластануы олардың топырақта жиналуына байланысты ұзақ мерзімді экологиялық қауіп төндіретіндігіне негізделген. Агрохимиялық зерттеудің негізгі мақсаты – Алтынсарин ауылына іргелес орналасқан ауыл шаруашылығы жерлерінің топы-

рағындағы басым ластаушы заттардың (Cd, Pb, As, Cr, Zn және Ni) мөлшері туралы сенімді мәліметтер алу болды. Зерттеу негізінен Солтүстік Қазақстанның далалық аймағына тән осы ауданның күңгірт қара қоңыр топырақтарына бағытталған. Ауыр металдардың (АМ) түсуінің ықтимал көздеріне антропогендік факторлар (жыртылатын қабатта АМ жиналуының негізгі көздерінің бірі болып табылатын тыңайтқыштарды жүйелі түрде қолдану) және табиғи-техногендік факторлар (кен шаңы мен қалдық қоймаларынан, атап айтқанда Краснооктябрь кенішінен 20-70 км қашықтыққа желмен тасымалданатын үгінді өнімдері) жатады. Фондық топырақ үлгілері Алтынсарин ауылының маңындағы аумақтан жиналды. Алынған нәтижелер экологиялық тәуекелдерді азайту және өңірдегі ауыл шаруашылығы өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету жөніндегі шараларды әзірлеу үшін негіз бола алады.

Түйінді сөздер: ауыр металдар, ICP-OES, топырақтың ластануы, Қостанай облысы, Қамысты ауданы, агрохимиялық зерттеу.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ В КАМИСТИНСКОМ РАЙОНЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ICP-OES

Рахимбаев Б.С. – доктор технических наук, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.

Наурызбаев Ж.К. – магистр технических наук, руководитель научно-технологического парка, г. Костанай, Республика Казахстан.

Нурпеисов А.А. – магистр технических наук, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт инновационных технологий, г. Костанай, Республика Казахстан.*

Нурсеитова А.М. – магистрант образовательной программы «7M05201 – Геоэкология и управление окружающей средой», Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.

Статья посвящена оценке содержания тяжёлых металлов (ТМ) в почвах сельскохозяйственных угодий Камыстинского района Костанайской области Республики Казахстан. Актуальность исследования обусловлена тем, что загрязнение пахотных земель тяжёлыми металлами представляет долгосрочную экологическую угрозу вследствие их накопления в почве. Основной целью агрохимического обследования являлось получение достоверной информации о содержании приоритетных загрязняющих веществ – Cd, Pb, As, Cr, Zn и Ni – в почвах угодий, прилегающих к селу Алтынсарино. Объектом исследования послужили преимущественно тёмно-каштановые почвы района, характерные для степной зоны Северного Казахстана. В качестве потенциальных источников поступления ТМ рассмотрены как антропогенные факторы: систематическое применение удобрений, являющихся одним из основным источником накопления ТМ в пахотном горизонте, так и природно-техногенные: ветровой перенос рудничной пыли и продуктов выветривания хвостохранилищ (в частности, Краснооктябрьского рудника) на расстоянии до 20–70 км. Фоновые образцы почвы отбирались на территории вблизи села Алтынсарино. Полученные результаты могут служить основой для разработки мероприятий по снижению экологических рисков и обеспечению безопасности сельскохозяйственной продукции региона.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, ICP-OES, загрязнение почв, Костанайская область, Камыстинский район, агрохимическое обследование.

Introduction

One of the major challenges facing modern agriculture is the impact of heavy metals on agricultural land. Heavy metals enter the environment from both natural sources and human activities. Natural sources include, among other things, the weathering of metal-bearing rocks by rainwater, as well as atmospheric deposition. Anthropogenic sources include industrial waste, transportation, the unregulated use of fertilizers containing heavy metals, and general urbanization processes. Unlike organic pollutants, heavy metals do not undergo biodegradation, and if they are not absorbed by plants or leached from the soil, they can accumulate and persist in it for a long time [1, c.2, 2, c.1810, 3, c.4, 4, c.3].

A significant portion of heavy metals released into the environment enters the lower troposphere via industrial emissions, migrates through the air, and settles in the surface soil layers. Any type of industrial soil contamination with heavy metals is assessed by the increase in metal concentration compared to its original natural background level, to which plant and animal organisms have long been adapted [4, c.3, 5, c.2, 6, c.3].

Soil contamination on agricultural lands, especially on cropland, poses a significant environmental problem, as it is a factor in the long-term accumulation and sustained migration of pollutants through food chains, with humans as the ultimate consumers. Heavy metals can accumulate in the soil and negatively affect all living organisms, including humans [4, c.4, 7, c.368]. The U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) considers heavy metals such as Cd, Cr, As, Hg, Pb, Cu, Zn, and Ni to be priority pollutants [8, c.423]. Among these, Cd, Pb, As, Hg, and Cr are highly toxic and harmful to plant health even at relatively low contamination levels [4, c.4, 6, c.3, 7, c.369, 9, c.4].

Some elements are classified as essential mineral nutrients for plant growth and productivity. These include Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Ni, Mg, Ca, and B. At relatively low concentrations, these elements contribute to the normal functioning of plant cells, including the maintenance of ion homeostasis, pigment biosynthesis, photosynthesis, respiration, enzyme activity, gene expression regulation, sugar metabolism, nitrogen fixation, and others [4, c.4, 10, c.6, 11, c.3].

In the Kostanay region, the area of land under agricultural use totals 11.073 million hectares [12, c.190]. Of the agricultural land in the Kostanay region, 6.346 million hectares are arable land, and approximately 4.376 million hectares are used as pasture. The Kostanay region is one of the main agricultural regions of the Republic of Kazakhstan; the total sown area in the Kostanay region accounts for 22.7% of all sown areas in the Republic of Kazakhstan [13, c.270, 14, c.15]. In the agricultural sector of the Kostanay region, more than 54 million centners of grains and legumes and more than 4.8 million centners of oilseeds are harvested annually. The main agricultural soils of the Kostanay region are represented by ordinary and southern chernozems (Calcic Chernozems, IUSS WRB, 2022) and chestnut soils [15, c.102] (Gypsic Kastanozems, IUSS WRB, 2022). In many areas, the soils are subject to salinization [16, c.50]. Grain farming (wheat, barley, oilseeds, forage crops) predominates in the Kostanay region, so the fertilizer regime is typical of the northern steppe regions of Kazakhstan.

Chemical fertilizers, especially inorganic ones, are the most important factor in the intensification of crop production. Consequently, mineral fertilizers, including nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and complex (mixed) fertilizers, are regularly applied to agricultural land to provide plants with the necessary macronutrients. Nitrogen fertilizers are applied in the spring to increase the yield of grain crops. They are used most often due to nitrogen deficiency in chernozems after many years of cultivation; these include: ammonium nitrate (NH_4NO_3), urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), and UAN (urea-ammonium nitrate mixture).

It has been shown that cadmium (Cd) concentrations in soil steadily increase as a result of phosphorus fertilizer application [17, c.496, 18, c.147, 19, c.7, 20, c.4, 21, c.6, 22, c.5]. Data from long-term field experiments confirm that Cd accumulation in the arable horizon directly correlates with the history of phosphorus fertilizer application and application rates [21, c.7, 22, c.6].

Wind transport must also be highlighted as one of the primary modes of heavy metal dispersion. Wind-borne dust transport is one of the key mechanisms for the long-range transport of heavy metals [23, c.4, 24, c.5]. The wind rose characteristic of Kazakhstan's steppe zone, with a predominance of northern, northwestern, and western directions, facilitates the transport of mine dust and weathering products from tailings ponds over distances ranging from 20 to 70 km.

Atmospheric transport comprises three main components: ore dust from blasting operations and transportation; dust from the surfaces of tailings ponds and overburden dumps; and emissions into the atmosphere during beneficiation processes. Fine particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$ – PM_{10}) with high concentrations of Cd, Cr, Cu, and Ni can be transported over significant distances and deposited in the soil cover of agricultural lands [23, c.6, 24, c.8].

The main objective of the agrochemical survey was to obtain reliable and objective information on the content of heavy metals in the soils of agricultural lands adjacent to the Altynsarin village.

Considering its spatial proximity (Figure 1), the Krasnooktyabrsky Mine may be regarded as a potential source of heavy metals (HMs).

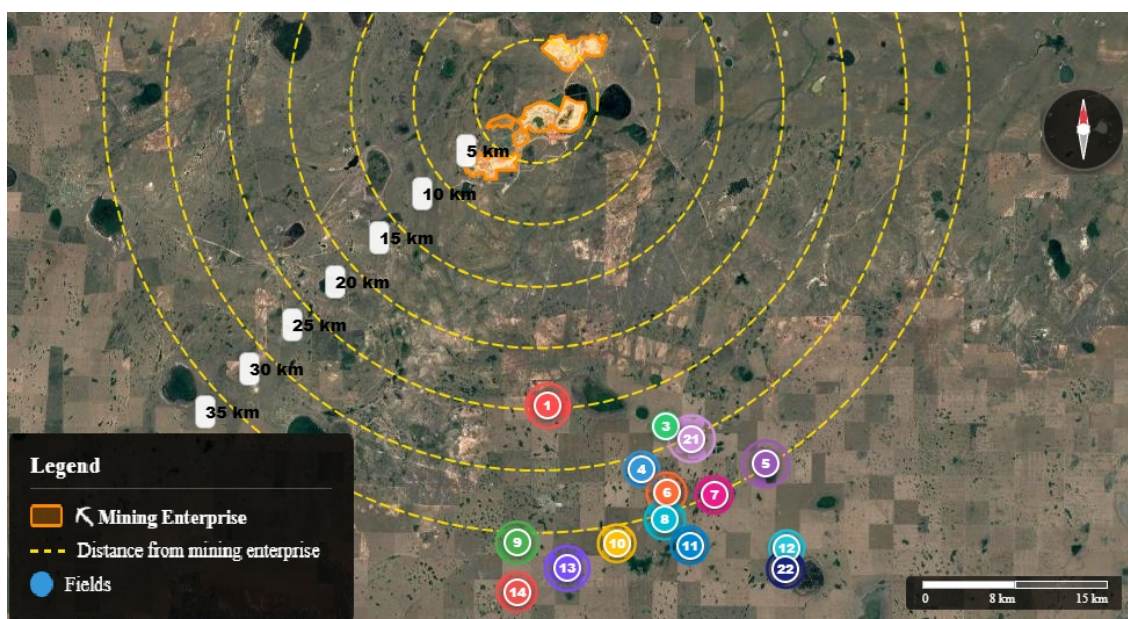


Figure 1 – The Krasnooktyabrsky Mine, showing the distances to the sampling points

Tasks: To determine the concentrations of mobile forms of heavy metals in the soils of the surveyed agricultural lands; to assess the average concentrations of heavy metals for each study site; to conduct a comparative analysis of heavy metal concentrations across different areas of the surveyed area; to evaluate the degree of soil contamination by heavy metals based on a comparison of the obtained data with the applicable regulatory standards.

The subject of the study is the soils of the Kamysty district. Most of the territory is covered by dark chestnut normal, dark chestnut, carbonate, and in some places residual carbonate soils, as well as dark chestnut solonetz and complexes of dark chestnut soils with solonetz; in the northwestern part, there are phosphatic chernozems. In the extreme southern part, medium-chestnut-colored saline soils and complexes of medium-chestnut-colored saline soils with solonets dominate. In the northern and southeastern parts, isolated solonetz patches are found [16, c.64]. For the background area, soil samples were collected from the area near the Altynsarin village.

Materials and Methods. The analysis included 340 soil samples collected from 22 fields. The fields are located near the Altynsarin and Filipovka villages in the Kamysty district of the Kostanay region.

Sampling and sample preparation were performed in accordance with **GOST 28168-89** this standard applies to the sampling of arable lands, hayfields, pastures, and forest nurseries and establishes methods for their sampling during agrochemical surveys.

The determination of mobile forms of macro- and microelements (As, Zn, Cd, Pb, Ni, Cr) was performed using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) with a Thermo Fisher Scientific iCAP Pro spectrometer. The determination of trace elements was performed in accordance with **GOST ISO 22036-2014** Determination of trace elements in soil extracts using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES).

Extraction of mobile metal forms from samples was performed in accordance with **PND F 16.1:2:2.2:2.3.78-2013** method for measuring the mass fraction of mobile forms of metals: copper, zinc, lead, cadmium, manganese, nickel, cobalt, and chromium in samples of soil, earth, bottom sediments, and wastewater sludge using flame atomic absorption spectrometry

To extract mobile forms of heavy metals in soil, an acetate-ammonium buffer solution with a concentration of 1 N ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) with a pH range of 4.8–7.0, which ensured stable extraction conditions and prevented the precipitation of metals as hydroxide forms. The resulting extracts were filtered and subsequently analyzed in a multi-component mode, which allowed for the determination of macro- and microelement concentrations in soil samples with high accuracy and productivity.

To determine maximum permissible concentrations (MPCs), Hygienic Standards **GN 2.1.7.2041-06** (Maximum Permissible Concentrations (MPCs) of Chemical Substances in Soil) were applied.

Results and Discussion. An analysis of soils in the Kamysty district revealed that the heavy metal content in the samples studied was within acceptable limits and did not exceed maximum permissible concentrations (Table 1). Given the large sample size, consisting of 340 samples from 22 fields (an average of 15 samples per field), the three most informative indicators were used for further statistical and comparative analysis.

Table 1 – Heavy metal content in soil, mg/kg of soil

Sample Name	Indicator s	As 189 nm	Zn 206 nm	Cd 214 nm	Pb 220 nm	Ni 231 nm	Cr 267 nm
		MPC					
		2	23	0,5	6	4	6
Field 1	average	0,189744	1,028063	0,046599	0,159	1,114649	0,807613
	max	0,237411	1,612354	0,051923	0,207247	1,52741	1,098281
	min	0,144324	0,66156	0,038017	0,118822	0,738978	0,504722
Field 2	average	0,180227	0,935436	0,050427	0,304399	1,823104	0,940256
	max	0,24012	1,279738	0,056278	0,367013	2,36937	1,154386
	min	0,140818	0,636156	0,045248	0,225838	1,525296	0,716272
Field 3	average	0,152069	1,13862	0,044324	0,194258	1,232814	0,979549
	max	0,18025	1,410503	0,052759	0,225667	1,444393	1,164276
	min	0,130432	0,750999	0,039894	0,161173	0,884524	0,672718
Field 4	average	0,166746	0,906633	0,047829	0,193467	1,19741	0,966167
	max	0,221256	1,612392	0,057135	0,221405	1,43135	1,165682
	min	0,119135	0,554054	0,039831	0,153218	0,837401	0,585486
Field 5	average	0,161205	0,731207	0,048541	0,177058	0,942448	0,76693
	max	0,18058	1,132364	0,053264	0,197481	1,147485	0,976064
	min	0,12742	0,496815	0,044938	0,138368	0,858897	0,676731
Field 6	average	0,16003	1,74502	0,058517	0,191528	1,089372	0,872869
	max	0,215574	2,259654	0,066161	0,203141	1,156937	1,06572
	min	0,09453	1,343901	0,051473	0,15711	0,990222	0,747852

Table 1 continued

Field 7	average	0,20888	0,803067	0,059484	0,264336	1,278716	0,758074
	max	0,253936	1,339555	0,064948	0,346101	1,474154	0,98622
	min	0,168536	0,4528	0,048283	0,143061	0,980934	0,622319
Field 8	average	0,169988	1,064944	0,055281	0,278346	1,491602	1,092347
	max	0,228201	1,403575	0,064117	0,318757	1,889209	1,47062
	min	0,125365	0,614526	0,048487	0,22237	1,131272	0,689532
Field 9	average	0,195031	0,705796	0,041267	0,189608	3,159906	0,320578
	max	0,225756	1,342308	0,050443	0,348299	3,715437	0,978859
	min	0,151408	0,449606	0,024064	0,132656	2,943959	0,1493
Field 10	average	0,158353	0,77603	0,046051	0,189432	0,956861	0,703933
	max	0,221355	1,320927	0,050871	0,321138	1,546157	1,176829
	min	0,102977	0,404875	0,031653	0,112854	0,776701	0,526937
Field 11	average	0,170087	0,642103	0,040719	0,168095	0,886901	0,717414
	max	0,200877	0,800064	0,049465	0,220644	1,43903	1,222555
	min	0,141501	0,513636	0,024074	0,101939	0,637301	0,509494
Field 12	average	0,163786	1,54157	0,056287	0,234326	1,01526	0,809183
	max	0,205567	1,896614	0,063369	0,431534	1,183461	0,960693
	min	0,120423	1,200209	0,04024	0,120656	0,762037	0,535321
Field 13	average	0,207983	1,004911	0,057937	0,250149	1,044282	0,793808
	max	0,250459	1,94619	0,082866	0,559447	1,301304	1,047201
	min	0,156476	0,438523	0,049408	0,164241	0,872512	0,643481
Field 14	average	0,244748	0,653236	0,043829	0,221597	3,549133	0,68447
	max	0,310444	1,252597	0,05728	0,312332	4,003149	1,094456
	min	0,168386	0,444709	0,026594	0,092985	3,02407	0,214749
Field 15	average	0,281411	0,628904	0,04283	0,209061	3,234539	0,368332
	max	0,322401	0,792642	0,055006	0,291989	3,470209	0,615323
	min	0,224372	0,479101	0,024033	0,159777	3,107331	0,2286
Field 16	average	0,235337	0,881695	0,03931	0,204007	3,316736	0,403149
	max	0,284859	1,229383	0,046195	0,26163	3,566244	0,70134
	min	0,178747	0,491351	0,033068	0,147831	3,055202	0,102278
Field 17	average	0,206003	0,594784	0,05513	0,270725	1,248157	0,834966
	max	0,234173	0,933666	0,060708	0,473489	2,003274	1,10217
	min	0,178307	0,385385	0,048618	0,199867	0,993121	0,607034
Field 18	average	0,191262	0,697132	0,053185	0,233444	1,253217	0,912793
	max	0,220517	1,433047	0,060831	0,282289	1,837596	1,469979
	min	0,150209	0,3313	0,046914	0,20775	0,690442	0,323346
Field 19	average	0,149473	0,883269	0,048027	0,224577	1,403117	1,014703
	max	0,186358	1,790246	0,055661	0,379001	1,97187	1,491856
	min	0,107761	0,586812	0,034158	0,150275	0,99836	0,644212
Field 20	average	0,135782	0,997903	0,043366	0,20987	1,299811	0,875907
	max	0,196443	1,258263	0,054548	0,305384	2,069499	1,217584
	min	0,085013	0,704897	0,016066	0,162851	0,934627	0,581062
Field 21	average	0,206643	0,866818	0,051018	0,248742	1,099277	0,827345
	max	0,243002	1,859512	0,05825	0,331778	1,506365	1,245074
	min	0,16484	0,365577	0,043597	0,169346	0,657407	0,515383
Field 22	average	0,199545	0,892916	0,060381	0,296695	1,675802	1,130884
	max	0,234303	1,258019	0,065421	0,34476	2,063379	1,899174
	min	0,16221	0,732243	0,057101	0,190452	1,35638	0,809693

An analysis of the experimental data presented in Table 3 indicates that the mobile forms of heavy metals (HM) in the topsoil of the studied agricultural lands do not, in most cases, exceed the maximum permissible concentrations (MPCs) as regulated by current sanitary and hygienic standards. The slight exceedance of regulatory limits observed in individual fields is localized and, in all likelihood, is due to the influence of local geochemical factors or localized anthropogenic impacts not associated with systematic contamination.

For a more detailed and clear interpretation of the results, the average HM concentrations across 22 fields were systematized and presented in Chart -1.

A comparative analysis of the average TM concentrations across the study fields generally shows that the values are similar for most elements, indicating a relatively uniform geochemical background within the study area.

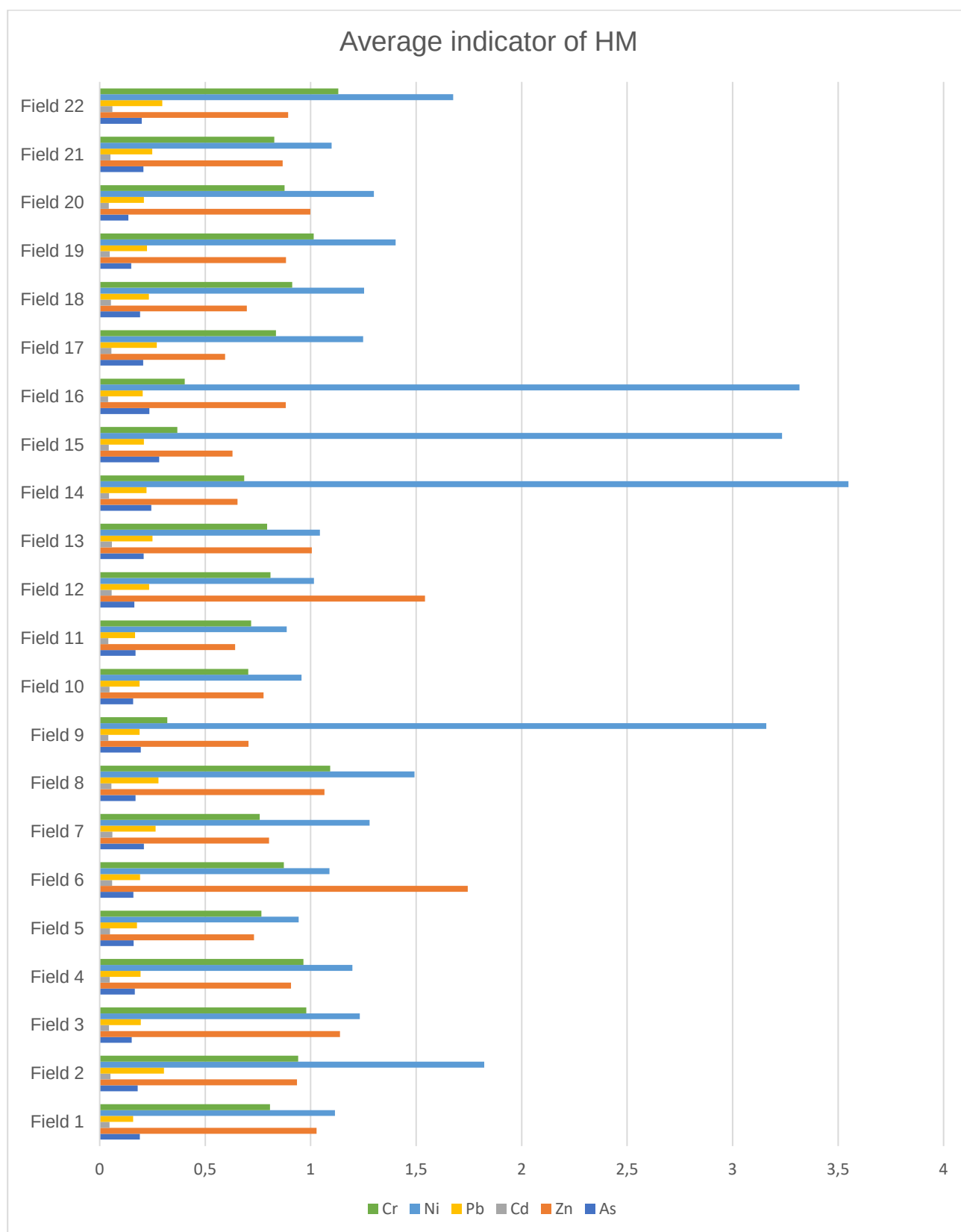


Chart – 1

The exception is nickel (Ni): according to Chart – 2, in fields Nos. 9, 14, 15, and 16, its average content in the mobile form is twice that of the other fields. It is characteristic that the anomaly covers precisely a group of adjacent fields, which rules out a random nature of the deviation and points to a localized anthropogenic or agrogenic source.

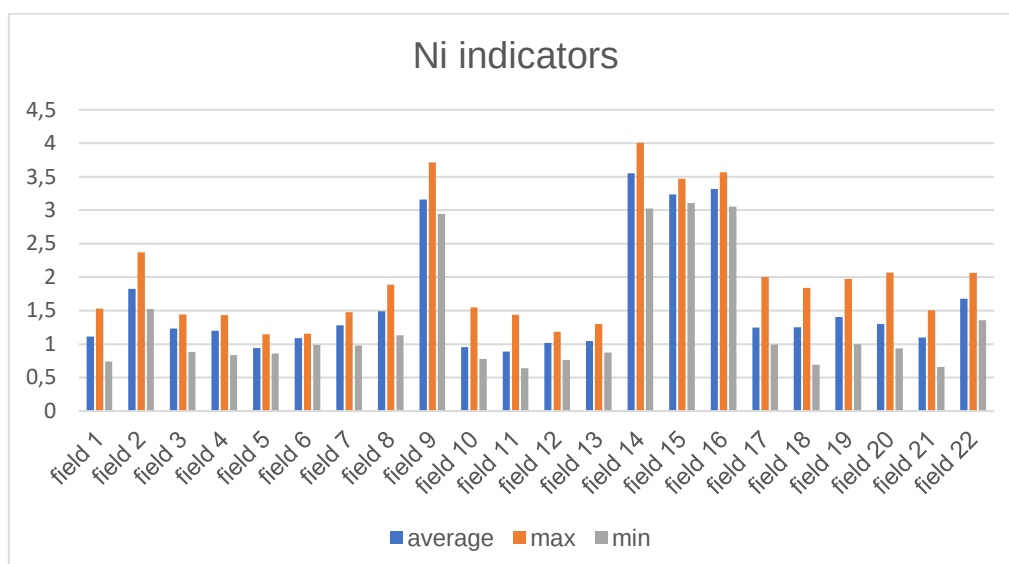


Chart – 2

A more detailed examination of the nickel results presented in Chart – 2 allows us to go beyond an analysis of average values and conduct a comprehensive assessment of the entire range of recorded values—from the minimum to the maximum values for each field. This approach makes it possible to more objectively assess the extent of the geochemical anomaly and its potential environmental significance.

It is noteworthy that in fields No. 9, 14, 15, and 16, not only the average but also the minimum recorded values of nickel content in mobile form exceed the corresponding minimum values of the other surveyed fields by 2-3 times. This circumstance is of fundamental importance from an analytical standpoint: if we were dealing only with point sources of emissions or local inclusions, the elevated concentrations would be reflected exclusively in the maximum values, whereas the upward shift of the entire range—including the minimum threshold—indicates a systematic and uniform accumulation of nickel across the entire area of the specified fields. This significantly strengthens the argument in favor of an anthropogenic, rather than natural, origin of the anomaly.

The results for Field No. 14 deserve special attention, where the maximum recorded nickel content reached 4.003 mg/kg, which corresponds to the lower threshold for exceeding the maximum permissible concentration of this element in soil. In fact, this field is very close to the regulatory threshold beyond which soil contamination with nickel is officially classified as a problem and requires the implementation of agroecological measures. A similar trend is observed in Field No. 9, where the maximum value was 3.7 mg/kg, which also indicates a significant approach to the MPC threshold and creates a zone of heightened environmental risk.

The combination of identified patterns – a sustained upward shift across the entire range of values, spatial clustering of anomalies within four fields, and the approach of maximum values toward regulatory limits—indicates that the process of nickel accumulation in these areas is progressive in nature. If current agrochemical practices continue without adjustments to the doses and types of fertilizers applied, there is a real likelihood that MPCs will be exceeded in the medium term, which will require restrictions on the use of these lands for food production.

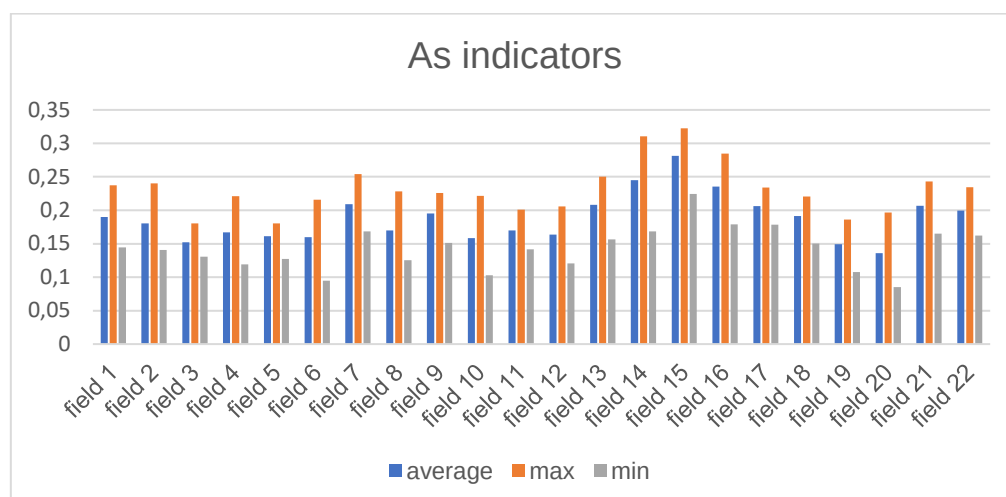


Chart – 3

An analysis of the data in Figure 3, which shows the distribution of mobile forms of arsenic (As) in the soils of the studied fields, indicates a consistently low concentration of this element throughout the entire surveyed area. The maximum recorded arsenic concentration was 0.32 mg/kg, which is 6.25 times lower than the established maximum permissible concentration (MPC) for this element in soil, which is 2.0 mg/kg. Such a significant gap between the actual values and the regulatory threshold precludes any grounds for classifying the soils of the study area as contaminated with respect to this indicator.

It is noteworthy that not only the average but also the maximum arsenic concentrations across all 22 surveyed fields show no tendency to approach the regulatory limit. The absence of fields with abnormally high concentrations, as well as the uniformly low distribution of values, indicate that sources of anthropogenic arsenic input into the soil cover of this territory are either absent or their contribution is negligible against the background of the natural geochemical background.

Based on the data obtained, it can be concluded that arsenic is present in the soils of the studied fields in trace amounts, without having a negative impact on the state of the soil ecosystem. The recorded concentrations do not pose a threat to soil biota, do not create a risk of the element accumulating in plant products above permissible limits, and do not pose a potential health hazard to the population consuming products grown on these lands. Thus, based on arsenic content, the soils in the Altynsarin village area are characterized as environmentally safe and compliant with all applicable sanitary and hygiene standards.

An analysis of Figure 4, which shows the distribution of mobile forms of zinc (Zn) in the soils of the study fields, indicates an extremely low concentration of this element throughout the entire surveyed area. The maximum concentration of mobile zinc was recorded in Field No. 6 and amounted to 2.3 mg/kg, which is more than 10 times lower than the established MPC standard for the mobile form of this element in soil, equal to 23 mg/kg. Such a significant gap between the actual indicators and the regulatory threshold clearly indicates the absence of zinc contamination in the soil cover of the study area.

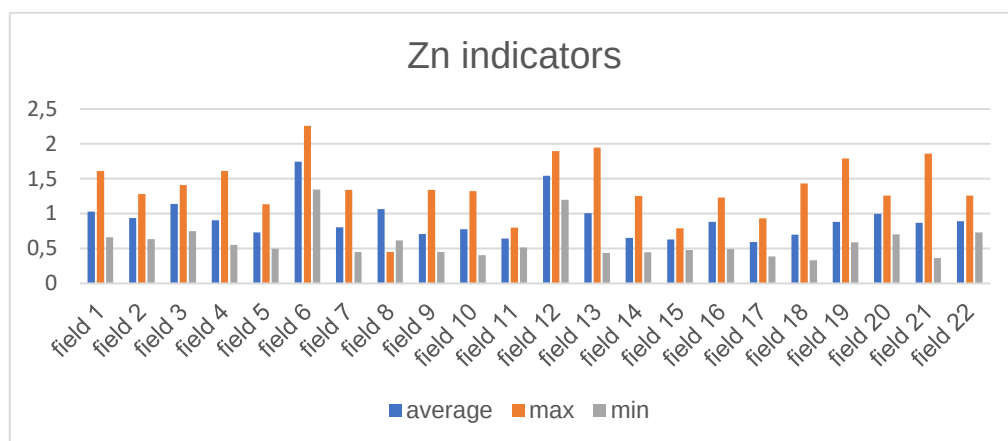


Chart – 4

Based on the data obtained, the soils of the studied fields are characterized as environmentally safe in terms of the content of mobile forms of zinc. The recorded concentrations do not pose a threat to soil biota, do not create conditions for excessive zinc accumulation in plant products, and do not carry a risk of negative impact on the ecosystem as a whole. This element, therefore, is not a limiting factor for the ecological condition of soils in the study area.

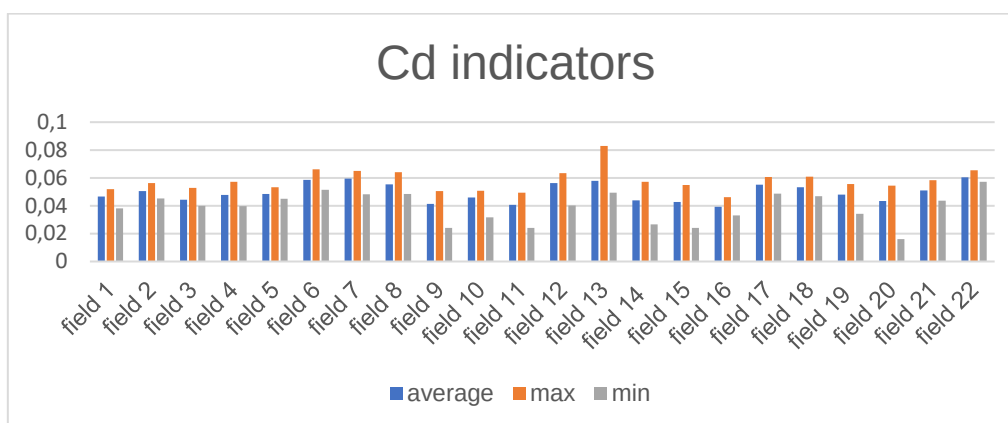


Chart – 5

The results of the study on the content of mobile forms of cadmium (Cd) in the soils of the surveyed fields, presented in Figure 5, indicate extremely low concentrations of this element throughout the entire surveyed area. The maximum value of mobile cadmium was recorded in Field No. 13 and amounted to 0.082 mg/kg, which is more than six times lower than the established MPC standard for mobile forms of this element (0.5 mg/kg). Such a significant gap between the actual values and the regulatory threshold unequivocally rules out the possibility of classifying the soils of the surveyed area as cadmium-contaminated.

A detailed examination of the data in Figure 5 for plot No. 13 reveals a fundamentally important analytical pattern: the average and minimum cadmium concentrations at this site are virtually identical. From a geochemical perspective, this fact has significant diagnostic value. The coincidence of the minimum and average values indicates that the vast majority of the samples collected are characterized by similar cadmium concentration values, which form a stable low-background level across the entire field area.

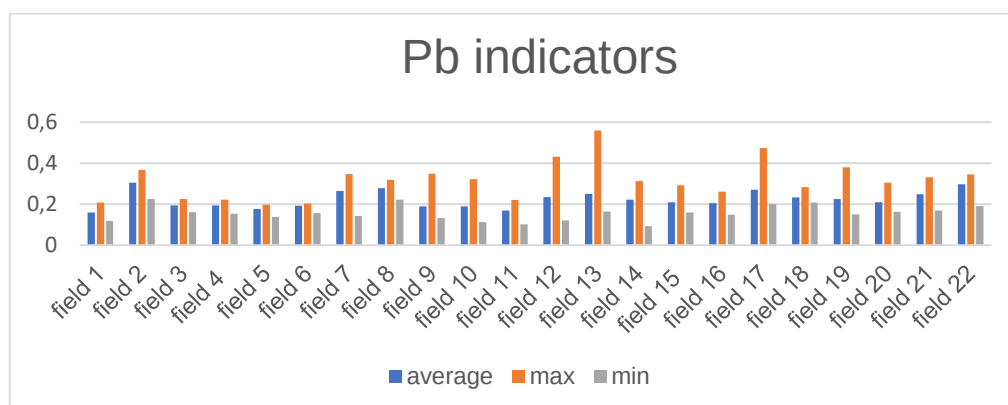


Chart – 6

An analysis of Figure 6, which shows the distribution of mobile forms of lead (Pb) in the soils of the studied fields, indicates a consistently low concentration of this element throughout the entire surveyed area. The maximum recorded concentration of mobile lead was 0.55 mg/kg, which is more than 10 times lower than the established MPC standard for this element, which is 6.0 mg/kg. Such a significant margin below the regulatory threshold clearly indicates the absence of lead contamination in the soil cover of the surveyed area.

A detailed examination of the range of values for Field No. 13, where the highest reading was recorded, reveals a fundamentally important pattern. The average and minimum lead concentrations in this area are at least two times lower than the recorded maximum, indicating that the value of 0.55 mg/kg represents an isolated local anomaly that does not reflect the overall geochemical characteristics of the field. The vast majority of samples collected in this area show significantly lower lead concentrations, forming a stable low-background level comparable to the values of the other surveyed fields.

Thus, the maximum value for Field No. 13 cannot be considered a representative indicator of the geochemical condition of this site as a whole.

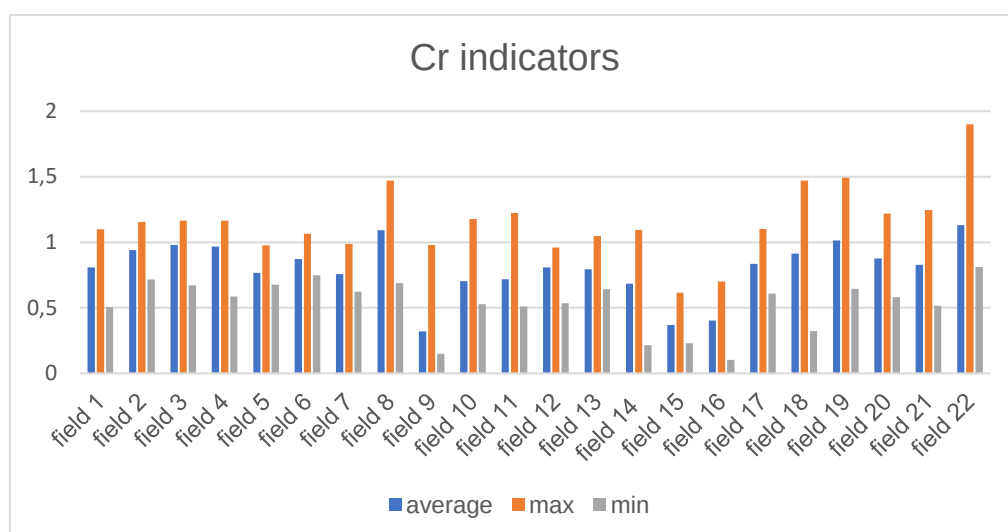


Chart – 7

Data on the content of mobile forms of chromium in the studied soils show generally low concentrations, although there are several areas with relatively elevated levels. The highest value was recorded in Field No. 22 at 1.9 mg/kg, which is more than three times lower than the maximum permissible concentration (MPC) for mobile chromium (6.0 mg/kg).

In fields No. 8, 18, and 19, concentrations ranging from 1.46 to 1.5 mg/kg were detected, exceeding the average background level of the other fields but remaining within regulatory limits. The similarity of absolute values at these three sites may indicate the presence of a common source of chromium, the nature of which requires further investigation. The most likely factors under consideration are the use of phosphorus-containing fertilizers and the lithological characteristics of the soil-forming rocks.

Based on the aggregate data obtained, all fields under study meet regulatory requirements for mobile chromium content and are characterized as environmentally safe.

Conclusion. The results of the study showed that the concentration of mobile forms of heavy metals in the soils of the surveyed fields does not exceed the established maximum permissible concentrations. This allows the soils in the area around the Altynsarin village to be classified as clean with regard to the elements studied. It was established that the average values of most heavy metals across the fields are similar, indicating a relatively homogeneous soil cover. At the same time, fields No. 9, 14, 15, and 16 showed higher nickel concentrations compared to the average values for the other plots, which may be related to specific agrochemical practices. The maximum concentrations of arsenic, zinc, cadmium, lead, and chromium remained significantly below regulatory limits. The data obtained indicate the absence of hazardous soil contamination by mobile forms of heavy metals and can serve as a basis for further environmental monitoring of agricultural lands.

Acknowledgments. This research was conducted as part of a targeted funding grant program for the project "Study of the Impact of Ecotoxins and Innovative Agricultural Technologies on Agricultural Lands and Produce in the Kostanay region" for 2024–2026 (Project No. BR24992839).

REFERENCES:

1. Wuana R.A., Okieimen F.E. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*, 2011, vol. 2011, art. 402647. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>.
2. Ghori N.H., Ghori T., Hayat M.Q., et al. Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019, vol. 16, pp. 1807–1828. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02239-4>.
3. Ali H., Khan E., Ilahi I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, vol. 2019, art. 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>.
4. Rashid A., Schutte B.J., Ulery A. Heavy metal contamination in agricultural soil: environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, 2023, vol. 13(6), art. 1521. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061521>.
5. Deng W. et al. Source apportionment of and potential health risks posed by trace elements in agricultural soils: a case study of the Guanzhong Plain, northwest China. *Chemosphere*, 2020, vol. 258, art. 127317. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127317>.
6. Wan Y., Liu J., Zhuang Z., Wang Q., Li H. Heavy Metals in Agricultural Soils: Sources, Influencing Factors, and Remediation Strategies. *Toxics*, 2024, vol. 12(1), art. 63. <https://doi.org/10.3390/toxics12010063>.
7. Rai P.K., Lee S.S., Zhang M., Tsang Y.F., Kim K.H. Heavy metals in food crops: health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 2019, vol. 125, pp. 365–385. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.040>.
8. USEPA (US Environmental Protection Agency). Code of Federal Regulations. Washington, US Government Publishing Office, 2014. Available at: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2014-title40-vol29/xml/CFR-2014-title40-vol29-part423-appA.xml> (accessed 12 March 2026).
9. Singh S., Parihar P., Singh R., Singh V.P., Prasad S.M. Heavy metal tolerance in plants: role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. *Frontiers in Plant Science*, 2016, vol. 6, art. 1143. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01143>.
10. Shahid M., Khalid S., Abbas G. et al. Heavy metal stress and crop productivity. Hakeem K.R. (ed.) Crop Production and Global Environmental Issues. Cham, Springer International Publishing, 2015, pp. 1–25. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23162-4_1.
11. Bashir K., Rasheed S., Kobayashi T., Seki M., Nishizawa N.K. Regulating subcellular metal homeostasis: the key to crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, 2016, vol. 7, art. 1192. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01192>.
12. Svodnyj analiticheskij otchet o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' Respubliki Kazakhstan za 2023 god [Consolidated analytical report on the condition and use of land in the Republic of Kazakhstan for 2023]. Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazakhstan, Komitet po upravleniyu zemel'ny'mi resursami, Astana, 2023, 336 p. (In Russian)

13. Nugmanov A.B., Mamikhin S.V., Valiev Kh.Kh., Bugubaeva A.U., Tokusheva A.S., Tulkubaeva S.A., Bulaev A.G. Poly species phytocenoses for ecosystem restoration of degraded soil covers. *OnLine Journal of Biological Sciences*, 2022, vol. 22(3), pp. 268–278. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2022.268.278>.
14. Valovy'j sbor sel'skohozyajstvenny'h kul'tur v Respublike Kazakhstan za 2022 god [Gross harvest of agricultural crops in the Republic of Kazakhstan in 2022]. Byuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskemu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. Available at: <https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/national/publications/5099/>. (accessed 11 March 2026). (In Russian)
15. IUSS Working Group WRB. **World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.** 4th ed. Vienna, International Union of Soil Sciences (IUSS), 2022, 236 p.
16. Bajsholanov S.S. **Agroklimaticheskie resursy' Kostanajskoj oblasti** [Agroclimatic resources of Kostanay Region]. Astana, 2017, 139 p. (In Russian)
17. Mar S.S., Okazaki M., Motobayashi T. The influence of phosphate fertilizer application levels and cultivars on cadmium uptake by Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. *perviridis*). *Soil Science and Plant Nutrition*, 2012, vol. 58, pp. 492–502. <https://doi.org/10.1080/00380768.2012.706185>.
18. Thomas E.Y., Omueti J.A.I., Ogundayomi O. The effect of phosphate fertilizer on heavy metal in soils and *Amaranthus caudatus*. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2012, vol. 3(4), pp. 145–149.
19. Hu J., Wang Z., Williams G.D.Z. et al. Evidence for the accumulation of toxic metal(loid)s in agricultural soils impacted from long-term application of phosphate fertilizer. *Science of the Total Environment*, 2024, vol. 907, art. 167863. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167863>.
20. Carvalho M., Almeida T., Van Opbergen G., Bispo F., Botelho L., Lima A.B., Marchiori P., Guilherme L. Arsenic, cadmium, and chromium concentrations in contrasting phosphate fertilizers and their bioaccumulation by crops: Towards a green label? *Environmental Research*, 2024, vol. 261, art. 120171. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120171>.
21. Zhuang Z., Mu H., Fu P., et al. Accumulation of potentially toxic elements in agricultural soil and scenario analysis of Cd inputs by fertilization: a case study in Quzhou county. *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 269, art. 110797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110797>.
22. McDowell R.W., Gray C.W. Do soil cadmium concentrations decline after phosphate fertiliser application is stopped: A comparison of long-term pasture trials in New Zealand? *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 804, art. 150047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150047>.
23. Matei E., Răpă M., Mateș I.M., et al. Heavy metals in particulate matter – trends and impacts on environment. *Molecules*, 2025, vol. 30(7), art. 1455. <https://doi.org/10.3390/molecules30071455>.
24. Zanetta-Colombo N.C., Blondet F., Meylan S. et al. Metal-bearing airborne particles from mining activities: A review on their characteristics, impacts and research perspectives. *Science of the Total Environment*, 2024, vol. 954, art. 176474. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176474>.

Information about the authors:

Rakhimbayev Berik Sagidollauly – Doctor of Technical Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., tel.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.

Naurzbayev Zhanibek Kuanyshbayevich – Master of Engineering, Director of the Science and Technology Park, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., tel.: 87057233111, e-mail: nauyrzbayevzhk@gmail.com.

Nurpeissov Adil Aidarovich* – Master of Engineering, Research Fellow, Research Institute of Innovative Technologies, Kostanay, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., tel.: 87475191036, e-mail: nurpeissov_adil@bk.ru.

Nurseitova Aruzhan Magauiyakyz* – Master's student, “7M05201 – Geoecology and Environmental Management” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., tel.: 87472814967, e-mail: nurseitova.am@ksu.edu.kz.

Рахимбаев Берик Сагидоллаұлы – техника ғылымдарының докторы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ, Абай даңғ. 28/1, тел.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.

Науырзбаев Жанибек Куанышбаевич – техника ғылымдарының магистрі, Ғылыми-технологиялық парктің директоры, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ, Абай даңғ. 28/1, тел.: 87057233111, e-mail: nauyrzbayevzhk@gmail.com.

Нурпеисов Адиль Айдарович* – техника ғылымдарының магистрі, Инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институтының ғылыми қызметкері, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ, Абай даңғ. 28/1, тел.: 87475191036, e-mail: nurpeissov_adil@bk.ru.

Нурсеитова Аружан Мағауияқызы – «7М05201 Геоэкология және табиғатты пайдалануды басқару» білім беру бағдарламасының магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ, Абай даңғ. 28/1, тел.: 87472814967, e-mail: aruzhan.nurseitova03@gmail.com.

Рахимбаев Берик Сағидоллаұлы – доктор технических наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Абая, 28/1, тел.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.

Науырзбаев Жанибек Куанышбаевич. – магистр технических наук, руководитель Научно-технологического парка, г. Костанай, Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Абая, 28/1, тел.: 87057233111, e-mail: nauyrzbayevzhk@gmail.com.

Нурпеисов Адиль Айдарович* – магистр технических наук, научный сотрудник Научно-исследовательского института инновационных технологий, г. Костанай, Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Абая, 28/1, тел.: 87475191036, e-mail: nurpeisov_adil@bk.ru.

Нурсеитова Аружан Мағауияқызы – магистрант образовательной программы «7М05201 – Геоэкология и управление природопользованием», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Абая, 28/1, тел.: 87472814967, e-mail: aruzhan.nurseitova03@gmail.com.

МРНТИ 68.39.29; 68.39.15

УДК 636.2.034-084.51

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621210>

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ НЕЙТРАЛЬНО-ДЕТЕРГЕНТНОЙ КЛЕТЧАТКИ В РАЦИОНАХ СУХОСТОЙНЫХ КОРОВ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОФИЛАКТИКУ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ

Смагулов Д.Б.* – PhD, ассоциированный профессор, директор аграрного инновационно-технологического парка, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», г. Уральск, Республика Казахстан.

Абугалиев С.К. – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», г. Уральск, Республика Казахстан.

Жубантаев И.Н. – кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе и международным связям, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», г. Уральск, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты изучения влияния нейтрально-детергентной клетчатки в рационах сухостойных коров на физиологическое состояние и профилактику метаболических нарушений в транзитный период, т.е. за 3 недели до и 3 после отёла. Исследования проведены на коровах голштинской породы в условиях промышленного молочного хозяйства Северного региона Казахстана (ТОО «Олжа-Садчиковское», Костанайская обл.). Анализ кормов выполнялся методом детергентного анализа по системе Van Soest с использованием анализатора ANKOM в соответствии с требованиями AOAC, ISO и ГОСТ. Были разработаны рационы для раннего и позднего сухостоя с контролируемым уровнем НДК и сбалансированным энергопротеиновым обеспечением. Оценивали структуру рационов, потребление питательных веществ, косвенные показатели рубцового метаболизма, минеральный баланс и некоторые зоотехнические параметры. Установлено, что избыточное содержание структурной клетчатки в традиционных рационах снижает концентрацию обменной энергии, нарушает кальций-фосфорное соотношение, повышает катионно-анионную разность (DCAD) и увеличивает риск метаболических расстройств. Оптимизация уровня НДК способствовала стабилизации микрофлоры рубца, улучшению поедаемости кормов, снижению кормового стресса и повышению физиологической адаптации коров к отёлу и началу лактации.

Ключевые слова: оптимизация рационов, потребление структурных углеводов, фракции пищевой клетчатки, рубцовый метаболизм, энергопротеиновый баланс, кальций-фосфорное соотношение, кормовой стресс.

СУАЛУ КЕЗЕНДЕГІ СИЫРЛАРДЫҢ АЗЫҚ РАЦИОНДАРЫНДАҒЫ БЕЙТАРАП-ЖУҒЫШ ЖАСҰНЫҚ ДЕҢГЕЙІНІҢ ФИЗИОЛОГИЯЛЫҚ КҮЙГЕ ЖӘНЕ МЕТАБОЛИТТІК БҰЗЫЛЫСТАРДЫҢ АЛДЫН АЛУҒА ӘСЕРІ

Смағұлов Д.Б.* – PhD, қауымдастырылған профессор, аграрлық инновациялық-технологиялық парк директоры, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Абуғалиев С.Қ. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, бас ғылыми қызметкер, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Жұбантаев І.Н. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ғылыми жұмыс және халықаралық қатынастар жөніндегі проректор, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Орал қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада суалу кезеңдегі сиырлардың азық рациондарындағы бейтарап-жуғыш жасұның деңгейінің физиологиялық күйге және метаболиттік бұзылыстардың алдын алуға әсері зерттелді. Тәжірибелер Қазақстанның Солтүстік өңіріндегі өнеркәсіптік сүт шаруашылығы жағдайында («Олжа-Садчиковское» ЖШС, Қостанай обл) голштин тұқымды сиырлардың төлдеуге дейінгі 3 және кейінгі 3 апта аралығын қамтитын аралық кезеңінде жүргізілді. Азықтардың химиялық құрамы Van Soest детергенттік талдау жүйесі бойынша ANKOM анализаторы арқылы AOAC, ISO және MEMCT стандарттарына сәйкес анықталды. Ерте және кеш суалу мерзімдеріне арналған энергия-ақуыз теңгерімі барынша сақтала отырып, БЖЖ реттелген азық рациондар құрастырылды. Рацион құрылымы, қоректік заттарды тұтыну мөлшері, мес қарындағы ашыту көрсеткіштерінің жанама индикаторлары, минералдық теңгерім және де кейбір зоотехникалық параметрлер бағаланды. Дәстүрлі рациондардағы құрылымдық жасұның мөлшерінің шамадан артық болуы алмасу энергиясының төмендеуіне, кальций-фосфор қатынасының бұзылуына, катион-антион айырмасы (DCAD) деңгейінің жоғарылауына және метаболиттік бұзылыстар қаупінің артуына әкелетіні айқындалды. БЖЖ мөлшерін оңтайландыру мес қарын микрофлорасының тұрақтануына, азық тұтынудың артуына, азықтандыру күйзелісінің төмендеуіне және сиырлардың төлдеу мен лактацияның басталуына физиологиялық бейімделуінің жақсаруына ықпал етті.

Түйінді сөздер: рациондарды оңтайландыру, құрылымдық көмірсуларды тұтыну, тағамдық жасұның фракциялары, мес қарын метаболизмі, энергия-ақуыз балансы, кальций-фосфор қатынасы, азықтандыру күйзелісі.

THE EFFECT OF NEUTRAL-DETERGENT FIBER LEVEL IN DRY COW RATIONS ON PHYSIOLOGICAL STATUS AND METABOLIC DISORDERS PREVENTION

Smagulov D.B.* – PhD, Associate Professor, Director of the Agrarian Innovation-Technology Park, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

Abugaliyev S.K. – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

Zhubantayev I.N. – Candidate of Agricultural Sciences, Vice-Rector for Research and International Relations, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of studying the effect of neutral-detergent fiber level in dry cow rations on physiological status and prevention of metabolic disorders during the transition period, i.e., three weeks before and three weeks after calving. The study was conducted on Holstein cows under commercial dairy farm conditions in the Northern region of Kazakhstan (Olzha-Sadchikovskoye LLP, Kostanay region.). Feed analysis was performed using the Van Soest detergent fiber system with an ANKOM analyzer in accordance with AOAC, ISO, and GOST standards. Rations for early and late dry periods were formulated with controlled NDF levels and balanced energy-protein supply. Ration structure, nutrient intake, indirect indicators of rumen metabolism based on dietary structural characteristics, mineral balance and zootechnical indicators were evaluated. It was established that excessive structural fiber content in traditional rations reduced metabolizable energy concentration, disrupted the calcium-to-phosphorus ratio, increased cation-anion difference (DCAD) values, and elevated the risk of metabolic disorders. Optimization of NDF content contributed to stabilization of rumen microflora, improved feed intake, reduced feeding stress, and enhanced physiological adaptation of cows to calving and the onset of lactation.

Keywords: ration optimization, structural carbohydrate intake, dietary fiber fractions, rumen metabolism, energy-protein balance, calcium-phosphorus ratio, feeding stress.

Введение. Повышение продуктивности и сохранение здоровья молочного скота в современных системах животноводства напрямую связано с оптимизацией кормления в сухостойный период, рассматриваемый как критическая фаза физиологической адаптации организма коров [1, с. 5773, 2, с. S32].

По данным современных исследований, до 70% метаболических нарушений регистрируются в первые недели после отёла, что обусловлено отрицательным энергетическим балансом, гормональной перестройкой и изменением рубцового микробиома [3, с. 1118, 4, с. 1600].

Одним из ключевых факторов, определяющих стабильность рубцового пищеварения и уровень потребления сухого вещества, является содержание нейтрально-детергентной клетчатки (НДК) в рационе. Оптимальная концентрация структурных углеводов способствует поддержанию жевательной активности, стабилизации pH рубца и повышению эффективности микробиального синтеза белка [5, с. 1045, 6, с. 4111]. В то же время их дефицит ассоциируется с развитием субклинического ацидоза, тогда

как избыточная концентрация приводит к снижению энергетической плотности рационов и формированию отрицательного баланса [7, с. 3950, 8, с. 55, 9, с. 1733].

В последние годы особое внимание уделяется взаимосвязи структуры рационов с минеральным обменом и катионно-анионной разностью. Установлено, что высокий положительный DCAD в сухостойный период существенно повышает риск развития гипокальциемии, родильных парезов и послеродовых осложнений [10, с. 3318, 11, с. 215, 12, с. 58]. Использование рационов с контролируемым уровнем НДК и оптимизированным минеральным составом рассматривается как эффективный инструмент профилактики метаболических заболеваний и повышения адаптационного потенциала коров в переходный период [13, с. 145, 14, с. 4000].

В условиях интенсификации молочного скотоводства структура рационов сухостойных коров отличается высокой вариабельностью, что обусловлено региональными особенностями кормовой базы, технологией заготовки кормов и качеством силоса и сенажа [15, с. 4025, 16, с. 2249, 17, с. 928]. Современные исследования, включая работы отечественных авторов, показывают, что несбалансированность рационов по структурной клетчатке и минеральным элементам является одной из основных причин снижения продуктивности и увеличения частоты метаболических нарушений у коров [18, с. 102, 19, с. 5, 20, с. 133]. Вместе с тем остаётся недостаточно данных о комплексной оценке влияния уровня НДК на параметры рубцовой ферментации, энергетический статус и минеральный обмен сухостойных коров в условиях Костанайской области Северного региона Казахстана [21, с. 1, 22, с. 3, 23, с. 4312].

В связи с этим **целью** настоящего исследования являлось экспериментальное изучение содержания НДК в рационах сухостойных коров голштинской породы на физиологическое состояние, косвенные показатели рубцового метаболизма и профилактику метаболических нарушений в транзитный период, а также разработка практико-ориентированных протоколов кормления, направленных на повышение эффективности молочного производства.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие **задачи**:

- провести анализ кормовой базы хозяйства, определить химический состав и питательную ценность используемых кормов с применением методов детергентного анализа по системе Van Soest;
- разработать рационы кормления для раннего и позднего сухостойного периода с различным уровнем нейтрально-детергентной клетчатки и сбалансированным энергопротеиновым обеспечением;
- оценить структуру рационов и их соответствие физиологическим нормам кормления;
- изучить влияние уровня НДК на показатели рубцового метаболизма на основе структурной обеспеченности, энергетический и минеральный обмен, а также катионно-анионную разность рациона;
- разработать инновационный протокол кормления сухостойных коров, направленный на снижение риска метаболических нарушений и повышение продуктивного потенциала в начале лактации.

Материалы и методы. Научно-исследовательская работа выполнена в рамках научно-технической программы BR24992892 – «Научно-обоснованные методы повышения продуктивности молочного скота на основе разработки инновационных протоколов кормления и интенсификации технологий выращивания молодняка» в соответствии с государственным заказом на программно-целевое финансирование бюджетной программы 217 «Развитие науки» Комитета науки МНВО РК на 2024-2026 гг.

Объектом исследований являлись сухостойные коровы голштинской породы в количестве 128 голов, содержащиеся в условиях молочного хозяйства ТОО «Олга Садчиковское» Костанайской области. В качестве экспериментального материала использовали данные племенного учета и зоотехнической документации, зарегистрированные в базе РСЖ «ИАС», результаты лабораторных анализов кормов и биохимические исследования крови, характеризующие физиологическое и метаболическое состояние животных.

На первом этапе был проведён отбор проб основных кормов и кормосмесей (суданская трава, сено житняка, кукурузный силос, сенаж из овса, гороха и ячменя) в соответствии с действующими стандартами. Определение химического состава и питательной ценности кормов выполняли в Ярославском НИИ животноводства и кормопроизводства – филиале ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» с использованием арбитражных методик: определение массовой доли сухого вещества – по ГОСТ 13496.3-2019, сырого протеина – по ГОСТ 13496.4-2019, сырого жира – по ГОСТ 13496.15-2016, сырой клетчатки – по ГОСТ 13496.2-2016, золы – по ГОСТ 26226-95, кальция и фосфора – по ГОСТ 26570-95 и ГОСТ 26657-97 соответственно.

Содержание сырой клетчатки определяли методом Геннеберга-Штокмана. Фракционный состав клетчатки анализировали с применением анализатора FIWE-3. Определение нейтрально-детергентной – НДК и кислотно-детергентной клетчатки – КДК проводили по системе детергентного анализа Van Soest в соответствии с методикой AOAC (Official Methods of Analysis, 2002.04) с учетом требований ISO 16472:2014 и ISO 13906:2008.

Анализ выполняли с использованием автоматического анализатора ANKOM-200 Fiber Analyzer («ANKOM» Technology, USA). Навески воздушно-сухих образцов массой 1,0 г, предварительно измельчённые до размера частиц 1 мм, подвергали экстракции в нейтральном детергентном растворе в течение 60 минут с применением термостабильной α -амилазы и сульфита натрия. После экстракции остатки фильтровали, промывали горячей дистиллированной водой и уксусом, высушивали при температуре 105°C до постоянной массы и озоляли при 550°C в течение 3 часов.

Определение КДК проводили путём обработки образцов кислотнo-детергентным раствором с последующим кипячением в течение 60 минут. Полученные остатки промывали, высушивали и озоляли аналогичным образом. Результаты анализа выражали в процентах от сухого вещества с учётом поправки на остаточную золу (aNDFom, ADFom) и использовали для расчёта структурной обеспеченности рационов сухостойных коров.

Для проведения производственного эксперимента из общей группы сухостойных коров были сформированы опытные группы методом пар-аналогов с учётом возраста, живой массы и физиологического состояния. Рационы нормировали по основным питательным веществам в соответствии с действующими зоотехническими нормами.

Структура рационов по сухому веществу включала грубые, сочные и концентрированные корма с варьированием уровня нейтрально- и кислотнo-детергентной клетчатки в зависимости от периода сухостоя (ранний и поздний). Контроль параметров кормления осуществляли по уровню сухого вещества, обменной энергии, содержанию сырого протеина, структурных углеводов и минеральных элементов.

Дополнительно для оценки физиологического и метаболического состояния животных проводили биохимические исследования крови. Отбор проб крови осуществляли у коров в сухостойный период в утренние часы до кормления. В сыворотке крови определяли концентрацию глюкозы, общего белка, мочевины, кальция, фосфора, магния, а также активность ферментов АСТ и АЛТ. Биохимические показатели рассматривались как индикаторы энергетического, белкового и минерального обмена, характеризующие адаптационные процессы организма в транзитный период.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали с использованием методов вариационной статистики по Лакину Г.Ф. Расчёты выполняли в программной среде Microsoft Excel. Достоверность различий между группами оценивали по критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при уровне вероятности: * при $P < 0,05$; ** при $P < 0,01$; *** при $P < 0,001$.

Результаты. В ходе исследования проведена комплексная оценка структуры рационов коров голштинской породы и их соответствия физиологическим потребностям в ранний и поздний сухостойный периоды. Анализ кормовой базы показал, что используемые в хозяйстве корма характеризовались высокой вариабельностью по содержанию структурных углеводов, что оказывало существенное влияние на энергетическую плотность рационов и показатели минерального обмена.

Как показано в таблице 1, в рационе коров раннего сухостоя доля нейтрально-детергентной клетчатки составила 56,68% от сухого вещества, что превышало рекомендуемые физиологические нормы (некоторые отклонения были статистически значимыми – $P < 0,05$). Повышенная концентрация НДК сопровождалась увеличением доли сырой клетчатки до 33,98% и снижением уровня обменной энергии до 8,04 МДж/кг. Данные показатели указывают на избыточную структурную нагрузку рациона, ограничивающую потребление сухого вещества и снижение энергетической обеспеченности организма коров.

Таблица 1 – Фактический рацион коров голштинской породы в ранний сухостойный период

Наименование корма	Кол.-во, кг	СВ, %
Суданская трава	6	92,17
Сено житняковое	4	85,55
Сенаж: овес, горох, ячмень	10	42,18
Концентраты (овес, ячмень, горох, пшеница)	0,5	86,3
<i>Итого кормов:</i>	<i>20,5</i>	<i>–</i>
Состав рациона	Рацион	Норма
Обменная энергия, МДж	109,33	116
Сухое вещество, кг	13,6	13,6
Сырой протеин, г	1585,82	1550
Белковый баланс рубца, г	78,08	50
Аминокислоты, усваиваемые в кишечнике, г	1005,42	800
Сырая клетчатка, г	4622,59	3250
НДК, г	7709,8	5800
КДК, г	4799,46	4300
Крахмал, г	772,68	1070
Сахар, г	1110,37	1140
Сырой жир, г	457,47	415
Кальций, г	155,07	105
Фосфор, г	31,75	60
Калий, г	n.d.	81
Сера, г	n.d.	27
Натрий, г	n.d.	13
Цинк, мг	n.d.	575
Магний, г	n.d.	26
Витамин D, тыс. ME	n.d.	10,9

Продолжение таблицы 1

Витамин Е, мг	n.d.	300
Витамин А, МЕ	n.d.	25
Зоотехническая характеристика рациона:	Фактическое	Оптимальное
Соотношение Са к Р	4,88	1,75
Содержание концентратов, %	3,17	<50
Содержание СП, %	11,66	11,4
Концентрация энергии в 1 кг СВ, МДж	8,04	8,53
DCAD, мЭкв/кг СВ	343,59	131,01
Содержание клетчатки, %	33,98	23,9
НДК, %	56,68	42,65
КДК, %	35,29	31,62
Содержание крахмала, %	5,68	7,87
Са, % DM	1,14	0,77
Р, % DM	0,23	0,44
Содержание СВ в рационе, %	66,35	45-60
Содержание СЖ в СВ, %	3,36	3,05

*Примечание: минеральные элементы, не определённые лабораторно, в расчёте DCAD учитывались по табличным кормовым коэффициентам.

Согласно данным таблицы 1, катионно-анионная разность рациона достигала 343,6 мЭкв/кг сухого вещества, что значительно превышает рекомендуемые значения для сухостойных коров. Высокий положительный DCAD в предродовой период рассматривается как фактор риска нарушения кальциевого обмена и развития гипокальциемии после отёла, что подтверждает необходимость корректировки минерального состава рационов. Поскольку именно избыток калия в грубых кормах является одним из основных факторов повышения DCAD, корректировка калийсодержащих компонентов рациона рассматривается как важный элемент профилактики нарушений кальциевого обмена.

В поздний сухостойный период наблюдалось снижение уровня нейтрально-детергентной клетчатки до 49,11% от сухого вещества (табл. 2), что сопровождалось повышением энергетической плотности рациона до 8,80 МДж/кг и увеличением доли концентрированных кормов. Такая структура кормосмеси обеспечивала более благоприятные условия для адаптации рубцового метаболизма к росту доли легкоферментируемых углеводов в начале лактации.

Таблица 2 – Фактический рацион коров голштинской породы в поздний сухостойный период

Наименование корма	Кол.-во, кг	СВ, %
Суданская трава	3	92,173
Сено житняковое	3	85,545
Сенаж: овес, горох, ячмень	10	42,183
Силос кукурузный	7	25,561
Концентраты (овес, ячмень, горох, пшеница)	3	86,3
<i>Итого кормов:</i>	26	—
Состав рациона	Рацион	Норма
Обменная энергия, МДж	122,6	131
Сухое вещество, кг	13,93	14
Сырой протеин, г	1827,27	1845
Белковый баланс рубца, г	74,93	50
Аминокислоты, усваиваемые в кишечнике, г	1136,71	800
Сырая клетчатка, г	4266,94	3800
НДК, г	6840,62	5500
КДК, г	4272,73	3300
Крахмал, г	1955,88	1500
Сахар, г	797,19	1140
Сырой жир, г	458,89	445
Кальций, г	102,56	105
Фосфор, г	23,34	70
Калий, г	n.d.	87
Сера, г	n.d.	29
Натрий, г	n.d.	15
Цинк, мг	n.d.	618
Магний, г	n.d.	30
Витамин D, тыс. МЕ	n.d.	13,5

Продолжение таблицы 2

Витамин Е, мг	n.d.	365
Витамин А, МЕ	n.d.	30
Зоотехническая характеристика рациона:	Фактическое	Оптимальное
Соотношение Са к Р	4,39	1,5
Содержание концентратов, %	18,59	<50
Содержание СП, %	13,12	13,18
Концентрация энергии в 1 кг СВ, МДж	8,8	9,36
DCAD, мЭкв/кг СВ	205,6	81,61
Содержание клетчатки, %	30,64	27,14
НДК, %	49,11	39,29
КДК, %	30,68	23,57
Содержание крахмала, %	14,04	10,71
Са, % DM	0,74	0,75
Р, % DM	0,17	0,5
Содержание СВ в рационе, %	53,57	45-60
Содержание СЖ в СВ, %	3,29	3,18

Примечание: минеральные элементы, не определённые лабораторно, в расчёте DCAD учитывались по табличным кормовым коэффициентам.

Как показано в таблице 2, значение DCAD снизилось до 205,6 мЭкв/кг сухого вещества, что свидетельствует о частичной оптимизации минерального баланса. Однако данный показатель по-прежнему превышал рекомендуемые физиологические уровни, что указывает на необходимость дополнительной корректировки калийсодержащих кормов и использования анионных добавок.

Сравнительный анализ рационов сухостойных коров голштинской породы в ранний и поздний сухостойные периоды (табл. 1-2) показал, что несбалансированность по уровню НДК и минеральным элементам приводит к снижению энергетической обеспеченности, нарушению кальций-фосфорного соотношения и формированию неблагоприятного метаболического фона в транзитный период.

Повышенное содержание КДК, зафиксированное в рационах обеих фаз сухостоя, указывает на снижение переваримости кормосмесей и потенциальное ухудшение поедаемости, что дополнительно усиливает риск отрицательного энергетического баланса перед отёлом.

Для подтверждения влияния структуры рационов на метаболическое состояние животных проведён анализ биохимических показателей крови (табл. 3).

Таблица 3 – Биохимические показатели крови сухостойных коров (n = 128 гол.), $\bar{X} \pm m_x$

Показатель	Ранний сухостой	Поздний сухостой	Норма	P
Глюкоза, ммоль/л	2,6±0,02	3,1±0,07	2,5-3,5	<0,05
Общий белок, г/л	68±0,43	72±0,68	65-85	<0,01
Мочевина, ммоль/л	5,8±0,08	6,5±0,10	3-7	<0,05
Кальций, ммоль/л	1,9±0,01	2,2±0,05	2,1-2,8	<0,01
Фосфор, ммоль/л	1,2±0,01	1,6±0,03	1,5-2,5	<0,05
Магний, ммоль/л	0,7±0,03	0,9±0,11	0,8-1,2	<0,001
АСТ, Ед/л	95±0,79	88±0,74	60-120	<0,05
АЛТ, Ед/л	32±0,58	29±0,45	15-40	<0,01

Установлено, что в ранний сухостойный период при повышенном уровне НДК отмечалось статистически значимое снижение концентрации глюкозы и кальция в сыворотке крови, что свидетельствует о недостаточной энергетической обеспеченности и риске нарушения минерального обмена.

В поздний сухостойный период при снижении уровня НДК и увеличении энергетической плотности рациона выявлено статистически значимое повышение уровня глюкозы, а также признаки частичной нормализации минерального и белкового обмена.

Полученные биохимические данные подтверждают, что избыточное содержание структурной клетчатки в рационе ограничивает энергетическую обеспеченность организма и оказывает влияние на ключевые параметры метаболического статуса сухостойных коров. Снижение уровня НДК в поздний сухостойный период способствует оптимизации энергетического обмена и повышению адаптационного потенциала животных в транзитный период.

На основании полученных экспериментальных данных был разработан протокол кормления сухостойных коров голштинской породы (рис. 1), предусматривающий дифференцированный подход к формированию рационов в ранний и поздний сухостойные периоды. Основными принципами протокола являются контроль уровня нейтрально-детергентной клетчатки, поддержание оптимальной энергетической плотности, корректировка минерального состава и регулирование катионно-анионной разности рациона.

серия/номер 18.11.2025 г.	наименование МТФ ТОО «Олга Садчиковское»	Утвердил: руководитель предприятия
ПРОТОКОЛ КОРМЛЕНИЯ – СУХОСТОЙНЫЕ КОРОВЫ (СУХ.1 – 6 недель после запуска и СУХ.2 – 3 недели перед отелом)		
Контролирующий	Оператор ЦС	
Цель	Создать условия для адаптации организма коровы после лактации оптимальному развитию плода, подготовка к отелу и последующей лактации	
Периоды	Начало – за 3 недели до отела; Окончание – за 1-1,5 недели до даты предполагаемого отела	
Технологическая операция	Режимы (параметры)	
Подготовка к отелу	Кормление по схеме с учетом планового удоя на предстоящую лактацию (упитанность коров 3,0-3,5 балла); диагностика мастита; обрезка копыт (1-3 недели до запуска); запечатывание сосков после запуска или ввод препарата, основанного на антибиотике широкого спектра действия (45-70 дней до отела); вакцинация (1-3 недели после запуска), лечение коров после запуска. Цель: снижение заболеваемости маститом после отёла; получение в достаточном качественном молозива для телят; высокое потребление СВ коровами во время сухостоя.	
Нормирование кормления	Норма скармливания определяется с учетом плановых показателей продуктивности коров. Оптимальная структура рациона: • Сухостойные коровы первого периода: 12-15 кг сухого вещества: сочные корма (сенаж, силос) – 58-62%; грубые корма (сено разнотравье) – 23-27%; концентрированные корма – 11-14%; премикс – 150 г/гол./сут. • Сухостойные коровы второго периода: 11-13 кг сухого вещества: сочные корма (сенаж, силос) – 45-50%; грубые корма (сено разнотравье) – 20-23%; концентрированные корма – 30-32%; премикс – 200 г/гол./сут.	
Скармливание ОР	1. Очистка поверхности кормового стола от остатков корма перед раздачей свежей кормосмеси 2. Ввод информации об остатках кормов в компьютерную программу и ее анализ 3. Корректировка количества корма до 2% на технологическую группу 4. Загрузка корма в смеситель и смешивание: 5. Доставка и раздача корма строго в определенное время: ✓ сухостойные коровы первого периода – 9:10 (60% кормосмеси); 16:40 (40% кормосмеси); ✓ сухостойные коровы второго периода – 9:30 (35% кормосмеси); 14:10 (40% кормосмеси); 20:50 (25% кормосмеси).	
Содержание	1. Размещение коров в групповых секциях (по 45-50 гол.) на глубокой подстилке или оборудованные стойлами для отдыха: – количество стойл – 1,1 на гол.; – стойла шириной 135-140 см; – плотность размещения из расчета на 1 гол. – 11 м ² – для отдыха, 65 м ² – открытого пространства для свободного перемещения; – мягкая подстилка (солома, песок, сухой навоз, шелуха подсолнечника) – 30-40 см; – минимальное время освещения 12 час.; – фронт кормления 0,75 м/гол., фронт поения 10 см/гол.; – температура оптимальная +12-16°С (нижняя критическая +8°С, верхняя критическая +25°С); – относительная влажность воздуха 50-75% (нижняя критическая – 40%, верхняя критическая – 85%); – скорость движения воздуха, в теплое время года – 0,5 м/сек., в холодное время года – 0,3 м/сек.	
Параметры рациона:		
❖ СУХ. 1: концентрация ОЗ в СВ рациона – 8-10 МДж; СП – 10-12%; НДК – 45-50%		
❖ СУХ. 2: концентрация ОЗ в СВ рациона – 9-10 МДж; СП – 12-15%; НДК – 33-37%		

Рисунок 1 – Образец протокола для сухостойных коров

Обсуждение. Полученные результаты подтверждают ключевую роль нейтрально-детергентной клетчатки в формировании структурной обеспеченности рационов сухостойных коров и согласуются с данными Zebeli Q. et al. (2012) и Oliveira A.S. et al. (2017), показавших, что отклонения уровня от оптимальных значений приводят к нарушению энергетического баланса и снижению эффективности использования кормов. В настоящем исследовании избыточная доля НДК в рационе раннего сухостоя (56,68%) сопровождалась снижением концентрации обменной энергии и ростом структурной нагрузки, что подтверждает применимость данной концепции для условий Северного региона Казахстана при высокой доле медленно перевариваемых фракций клетчатки.

Значения DCAD указывают на необходимость корректировки минерального баланса в практических схемах кормления сухостойных коров, что согласуется с результатами Santos J.E.P. et al. (2019) и Goff J.P. (2008), которые указывают на прямую связь между положительным катионно-анионным балансом и повышенным риском гипокальциемии в послеродовом периоде. Это свидетельствует о том, что традиционные рационы с высоким содержанием калийсодержащих грубых кормов требуют обязательной корректировки минерального состава и применения анионных компонентов в предродовой фазе.

Коррекция содержания НДК в поздний сухостойный период обеспечивала более благоприятные условия для физиологической адаптации коров и снижения метаболических рисков в начале лактации. Аналогичные тенденции описаны в трудах Grant R.J. & Ferraretto L.F. (2018), которые показали, что адаптация структуры рационов перед отёлом способствует стабилизации потребления сухого вещества и снижению кормового стресса.

Особое значение имеет выявленная высокая доля кислотного-детергентной клетчатки в обеих фазах сухостоя, что указывает на снижение переваримости кормосмесей. По нашим данным, повышение КДК напрямую связано с уменьшением доступности энергии и замедлением микробиального синтеза, что может усиливать отрицательный энергетический баланс в транзитный период. Это обосновывает необходимость контроля не только общего уровня НДК, но и фракционного состава структурных углеводов.

Заключение. Полученные данные позволяют заключить, что уровень как нейтрально-, так и кислотного-детергентной клетчатки в рационах сухостойных коров голштинской породы оказывает существенное влияние на энергетическую плотность кормов, минеральный баланс и процессы метаболической адаптации в транзитный период.

Таким образом, результаты исследования подтверждают концепцию фазового кормления сухостойных коров, при которой ранний сухостой ориентирован на поддержание структурной стабильности рубцового метаболизма, а поздний – на подготовку энергетического обмена к началу лактации. Реализация предложенного протокола кормления позволяет снизить метаболическую нагрузку и повысить физиологическую устойчивость коров в условиях промышленного молочного производства Северного региона Казахстана.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Roche, J.R., Friggens, N.C., Kay, J.K., Fisher, M.W., Stafford, K.J., Berry, D.P. **Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare** [Текст] / J.R. Roche, N.C. Friggens, J.K. Kay, M.W. Fisher, K.J. Stafford, D.P. Berry // *Journal of Dairy Science*. – 2009. – No92. – C.5769-5801. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2431>.
2. LeBlanc, S.J. **Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period** [Текст] / S.J. LeBlanc // *Journal of Reproduction and Development*. – 2010. – No56. – C.S29-S35. <https://doi.org/10.1262/jrd.1056S29>.
3. Plaizier, J.C., Krause, D.O., Gozho, G.N., McBride, B.W. **Subacute ruminal acidosis in dairy cows** [Текст] / J.C. Plaizier, D.O. Krause, G.N. Gozho, B.W. McBride // *Journal of Dairy Science*. – 2008. – No91. – C.1110-1125. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0664>.
4. Ospina, P.A., Nydam, D.V., Stokol, T., Overton, T.R. **Associations of metabolic indicators with transition cow diseases** [Текст] / P.A. Ospina, D.V. Nydam, T. Stokol, T.R. Overton // *Journal of Dairy Science*. – 2010. – No93. – C.1596-1603. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2785>.
5. Zebeli, Q., Aschenbach, J.R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B.N., Drochner, W. **Role of physically effective fiber in dairy cattle nutrition** [Текст] / Q. Zebeli, J.R. Aschenbach, M. Tafaj, J. Boguhn, B.N. Ametaj, W. Drochner // *Journal of Dairy Science*. – 2012. – No95. – C.1041-1056. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4421>.
6. Grant, R.J., Ferraretto, L.F. **Silage feeding management and dairy cow feeding behavior** [Текст] / R.J. Grant, L.F. Ferraretto // *Journal of Dairy Science*. – 2018. – No101. – C.4111-4121. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13729>.
7. Ferraretto, L.F., Shaver, R.D., Luck, B.D. **Advances in corn silage harvesting technologies** [Текст] / L.F. Ferraretto, R.D. Shaver, B.D. Luck // *Journal of Dairy Science*. – 2018. – No101. – C.3937-3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>.
8. Goff, J.P. **Prevention and treatment of hypocalcemia in dairy cows** [Текст] / J.P. Goff // *Veterinary Journal*. – 2008. – No176. – C.50-57. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.029>.
9. Oliveira, A.S., Weinberg, Z.G., Ogunade, I.M., Cervantes, A.A.P., Arriola, K.G., Jiang, Y., Kim, D., Vyas, D., Adesogan, A.T. **Meta-analysis of effects of dietary neutral detergent fiber on dairy cow performance** [Текст] / A.S. Oliveira, Z.G. Weinberg, I.M. Ogunade, A.A.P. Cervantes, K.G. Arriola, Y. Jiang, D. Kim, D. Vyas, A.T. Adesogan // *Journal of Dairy Science*. – 2017. – No100. – C.1733-1751. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11519>.
10. Allen, M.S., Bradford, B.J., Oba, M. **Hepatic oxidation theory of feed intake control in ruminants** [Текст] / M.S. Allen, B.J. Bradford, M. Oba // *Journal of Animal Science*. – 2009. – No87. – C.3317-3334. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1779>.
11. Santos, J.E.P., Lean, I.J., Golder, H., Block, E. **Meta-analysis of dietary cation-anion difference effects on dairy cow performance** [Текст] / J.E.P. Santos, I.J. Lean, H. Golder, E. Block // *Journal of Dairy Science*. – 2019. – No102. – C.213-232. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14720>.
12. DeGaris, P.J., Lean, I.J. **Milk fever in dairy cows: pathophysiology and control** [Текст] / P.J. DeGaris, I.J. Lean // *Veterinary Journal*. – 2008. – No176. – C.58-69. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.028>.
13. Khan, N.A., Yu, P., Ali, M., Cone, J.W., Hendriks, W.H. **Nutritive value of forages related to fiber characteristics** [Текст] / N.A. Khan, P. Yu, M. Ali, J.W. Cone, W.H. Hendriks // *Animal Feed Science and Technology*. – 2015. – No208. – C.144-158. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.011>.
14. Muck, R.E., Nadeau, E.M.G., McAllister, T.A. **Advances in silage preservation** [Текст] / R.E. Muck, E.M.G. Nadeau, T.A. McAllister // *Journal of Dairy Science*. – 2018. – No101. – C.3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>.

15. Kung, L., Shaver, R.D., Grant, R.J., Schmidt, R.J. Interpretation of chemical and microbial silage indicators [Текст] / L. Kung, R.D. Shaver, R.J. Grant, R.J. Schmidt // *Journal of Dairy Science*. – 2018. – No101. – C.4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>.
16. Humer, E., Zebeli, Q. Grain feeding and rumen microbiota interactions [Текст] / E. Humer, Q. Zebeli // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – No8. – C.2249. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02249>.
17. Rabelo, E., Rezende, R.L., Bertics, S.J., Grummer, R.R. Effects of transition diets on intake and metabolic status [Текст] / E. Rabelo, R.L. Rezende, S.J. Bertics, R.R. Grummer // *Journal of Dairy Science*. – 2003. – No86. – C.916-929. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73663-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73663-9).
18. Uetake, K. Newborn calf welfare: A review focusing on mortality rates [Текст] / K. Uetake // *Animal Science Journal*. – 2013. – No84. – C.101-105. <https://doi.org/10.1111/asj.12019>.
19. Abugaliev, S., Babich, E., Smagulov, D., Shvetsova, T., Mukhtarov, N. Variability growth rate of young dairy breeds depending on their immune status [Текст] / S. Abugaliev, E. Babich, D. Smagulov, T. Shvetsova, N. Mukhtarov // *Brazilian Journal of Biology*. – 2025. – No85. – e298456. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.298456>.
20. Hammon, H.M., Liermann, W., Frieten, D., Koch, C. Review: Importance of colostrum supply for intestinal development in neonatal calves [Текст] / H.M. Hammon, W. Liermann, D. Frieten, C. Koch // *Animal*. – 2020. – No14. – C.133-143. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003143>.
21. Lorenz, I., Mee, J.F., Earley, B., More, S.J. Calf health from birth to weaning. I. General aspects of disease prevention [Текст] / I. Lorenz, J.F. Mee, B. Earley, More S.J. // *Irish Veterinary Journal*. – 2011. – No64. <https://doi.org/10.1186/2046-0481-64-10>.
22. Raboisson, D., Trillat, P., Cahuzac, E. Failure of passive immune transfer in calves: A meta-analysis on the consequences and assessment of the economic impact [Текст] / D. Raboisson, P. Trillat, E. Cahuzac // *PLoS ONE*. – 2016. – No11. – e0150452. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150452>.
23. Abuelo, A., Havrlant, P., Wood, N., Hernandez-Jover, M. An investigation of dairy calf management practices and calf health in large dairy herds. [Текст] / A. Abuelo, P. Havrlant, N. Wood, M. Hernandez-Jover // *Journal of Dairy Science*. – 2019. – No102. – C.4304-4316. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15850>.

REFERENCES:

1. Roche J.R., Friggens N.C., Kay J.K., Fisher M.W., Stafford K.J., Berry D.P. Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 2009, vol. 92, pp. 5769-5801. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2431>.
2. LeBlanc S.J. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *Journal of Reproduction and Development*, 2010, vol. 56, pp. S29-S35. <https://doi.org/10.1262/jrd.1056S29>.
3. Plaizier J.C., Krause D.O., Gozho G.N., McBride B.W. Subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2008, vol. 91, pp. 1110-1125. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0664>.
4. Ospina P.A., Nydam D.V., Stokol T., Overton T.R. Associations of metabolic indicators with transition cow diseases. *Journal of Dairy Science*, 2010, vol. 93, pp. 1596-1603. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2785>.
5. Zebeli Q., Aschenbach J.R., Tafaj M., Boguhn J., Ametaj B.N., Drochner W. Role of physically effective fiber in dairy cattle nutrition. *Journal of Dairy Science*, 2012, vol. 95, pp. 1041-1056. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4421>.
6. Grant R.J., Ferraretto L.F. Silage feeding management and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, pp. 4111-4121. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13729>.
7. Ferraretto L.F., Shaver R.D., Luck B.D. Advances in corn silage harvesting technologies. *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, pp. 3937-3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>.
8. Goff J.P. Prevention and treatment of hypocalcemia in dairy cows. *Veterinary Journal*, 2008, vol. 176, pp. 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.029>.
9. Oliveira A.S., Weinberg Z.G., Ogunade I.M., Cervantes A.A.P., Arriola K.G., Jiang Y., et al. Meta-analysis of effects of dietary neutral detergent fiber on dairy cow performance. *Journal of Dairy Science*, 2017, vol. 100, pp. 1733-1751. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11519>.
10. Allen M.S., Bradford B.J., Oba M. Hepatic oxidation theory of feed intake control in ruminants. *Journal of Animal Science*, 2009, vol. 87, pp. 3317-3334. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1779>.
11. Santos J.E.P., Lean I.J., Golder H., Block E. Meta-analysis of dietary cation-anion difference effects on dairy cow performance. *Journal of Dairy Science*, 2019, vol. 102, pp. 213-232. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14720>.
12. DeGaris P.J., Lean I.J. Milk fever in dairy cows: pathophysiology and control. *Veterinary Journal*, 2008, vol. 176, pp. 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.028>.
13. Khan N.A., Yu P., Ali M., Cone J.W., Hendriks W.H. Nutritive value of forages related to fiber characteristics. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, vol. 208, pp. 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.011>.
14. Muck R.E., Nadeau E.M.G., McAllister T.A. Advances in silage preservation. *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, pp. 3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>.

15. Kung L., Shaver R.D., Grant R.J., Schmidt R.J. Interpretation of chemical and microbial silage indicators. *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, pp. 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>.
16. Humer E., Zebeli Q. Grain feeding and rumen microbiota interactions. *Frontiers in Microbiology*, 2017, vol. 8, art. 2249. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02249>.
17. Rabelo E., Rezende R.L., Bertics S.J., Grummer R.R. Effects of transition diets on intake and metabolic status. *Journal of Dairy Science*, 2003, vol. 86, pp. 916-929. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73663-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73663-9).
18. Uetake K. Newborn calf welfare: A review focusing on mortality rates. *Animal Science Journal*, 2013, vol. 84, pp. 101-105. <https://doi.org/10.1111/asj.12019>.
19. Abugaliev S., Babich E., Smagulov D., Shvetsova T., Mukhtarov N. Variability growth rate of young dairy breeds depending on their immune status. *Brazilian Journal of Biology*, 2025, vol. 85., art. e298456. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.298456>.
20. Hammon H.M., Liermann W., Frieten D., Koch C. Review: Importance of colostrum supply for intestinal development in neonatal calves. *Animal*, 2020, vol. 14, pp. 133-143. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003143>.
21. Lorenz I., Mee J.F., Earley B., More S.J. Calf health from birth to weaning. I. General aspects of disease prevention. *Irish Veterinary Journal*, 2011, vol. 64, art. 10. <https://doi.org/10.1186/2046-0481-64-10>.
22. Raboisson D., Trillat P., Cahuzac E. Failure of passive immune transfer in calves: A meta-analysis on the consequences and assessment of the economic impact. *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, art. e0150452. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150452>.
23. Abuelo A., Havrlant P., Wood N., Hernandez-Jover M. An investigation of dairy calf management practices and calf health in large dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 2019, vol. 102, pp. 4304-4316. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15850>.

Сведения об авторах:

Смагулов Дархан Бакытбекович* – PhD, ассоциированный профессор, директор аграрного инновационно-технологического парка, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, 43/2, тел.: 87074748008, e-mail: dark.smagul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8992-2244>.

Абугалиев Серимбек Құрманбаевич – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, 43/2, тел.: 87017331453, e-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>.

Жубантаев Изимгали Нурымович – кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе и международным связям, «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет», Республика Казахстан, 090000, г. Уральск, ул. Громова, 16, тел.: 87758821591, e-mail: zhubantayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9218-5414>.

Смағұлов Дархан Бақытбекұлы* – PhD, қауымдастырылған профессор, аграрлық инновациялық-технологиялық парк директоры, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Қазақстан Республикасы, 090009, Орал қ., Жәңгір хан көш., 43/2, тел.: 87074748008, e-mail: dark.smagul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8992-2244>.

Абугалиев Серімбек Құрманбайұлы – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, бас ғылыми қызметкер, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Қазақстан Республикасы, 090009, Орал қ., Жәңгір хан көш., 43/2, тел.: 87017331453, e-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>.

Жубантаев Изимгали Нурымович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ғылыми жұмыс және халықаралық қатынастар жөніндегі проректор, «Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті», Қазақстан Республикасы, 090009, Орал қ., Громов көш., 16, тел.: 87758821591, e-mail: zhubantayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9218-5414>.

Smagulov Darkhan Bakytbekovich* – PhD, Associate Professor, Director of the Agrarian Innovation-Technology Park, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 43/2 Zhangir Khan Str., tel.: 87074748008, e-mail: dark.smagul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8992-2244>.

Abugaliyev Serimbek Kurmanbayuly – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 43/2 Zhangir Khan Str., tel.: 87017331453, e-mail: aserimbek1959@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2316-5214>.

Zhubantayev Izimgali Nurymovich – Candidate of Agricultural Sciences, Vice-Rector for Research and International Relations, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Republic of Kazakhstan, 090009, Uralsk, 16 Gromov Str., tel.: 87758821591, e-mail: zhubantayev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9218-5414>.

МРНТИ 68.31.02; 38.61.31
УДК 556.31,556.3.04,556.3.06
<https://doi.org/10.52269/SKVC2621220>

ОБВОДНЕНИЕ ПАСТБИЩ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ОТГОННОГО ЖИВОТНОВОДСТВА В ОБЛАСТИ ЖЕТЫСУ

Тажиев С.Р. – PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории промышленных и геотермальных вод, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан.*

Муртазин Е.Ж. – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан.

Рахимова В.С. – PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан.

Алимгазина А.К. – магистр технических наук, научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина», Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан.

В условиях засушливого климата южных регионов Казахстана развитие пастбищного животноводства напрямую зависит от наличия устойчивого водоснабжения. Подземные воды, как более надёжный источник по сравнению с поверхностными, играют ключевую роль в обеспечении питьевых потребностей скота и обслуживающего персонала в связи с природно-климатическими изменениями и антропогенным фактором, а также с проблемой, которая возникает с трансграничной рекой Или. Река Или протекает по территории двух стран, Китайская Народная Республика и Республика Казахстан. В статье рассмотрены результаты гидрогеологических исследований, проведённых в области Жетысу, направленных на оценку состояния и потенциала подземных вод в контексте обводнения пастбищных угодий. Проведён анализ качества, минерализации и дебитов подземных вод в различных геологических условиях: предгорных равнинах, песчаных массивах и межгорных впадинах. Полевые обследования включали отбор проб из действующих колодцев и скважин, оценку степени износа водозаборных сооружений и картирование водопунктов.

Результаты показали наличие значительных ресурсов пресных и слабосолоноватых подземных вод, пригодных в том числе и для нужд животноводства. Вместе с тем выявлена критическая деградация инфраструктуры водоснабжения: большая часть скважин требует реконструкции, а уровень механизации остаётся низким, так как почти все гидрогеологические скважины были пробурены в советское время. Предлагаются меры по восстановлению и модернизации системы обводнения на основе актуальных данных, включая внедрение инновационных технологий и усиление межведомственного взаимодействия. По линии сельского хозяйства, в том числе и для бурения новых гидрогеологических скважин, субсидии от государства доходят до 70%. Обоснована необходимость восстановления водозаборных сооружений и внедрения современных подходов к управлению подземными водами для устойчивого развития пастбищного животноводства.

Ключевые слова: пастбища, подземные воды, обводнение, гидрогеология, водообеспечение.

ЖЕТИСУ ОБЛЫСЫНДА КӨШПЕЛІ МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫН ДАМУДАҒЫ ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫМЕН ЖАЙЫЛЫМДАРДЫ СУЛАНДЫРУДЫҢ МАҢЫЗЫ

Тажиев С.Р. – PhD, Өнеркәсіптік және геотермалдық сулар зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Ұ.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.*

Мұртазин Е.Ж. – Директорының ғылым жөніндегі орынбасары, Ұ.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Рахимова В.С. – PhD, Гидродинамикалық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Ұ.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Алимгазина А.К. – инженерлік ғылымдар магистрі, жер асты сулары ресурстары зертханасының ғылыми қызметкері, Ұ.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Қазақстанның оңтүстік аймақтарының құрғақ климатында жайылымдық мал шаруашылығын дамыту тұрақты сумен жабдықтауға тікелей байланысты. Жер үсті суларына қарағанда сенімдірек көз ретінде жер асты сулары табиғи және климаттық өзгерістерге, антропогендік факторларға және трансшекаралық Іле өзенінің тудыратын мәселесіне байланысты мал мен қызмет көрсету

персоналының ауыз су қажеттіліктерін қанағаттандыруда маңызды рөл атқарады. Іле өзені екі ел, Қытай Халық Республикасы және Қазақстан Республикасы арқылы ағып өтеді. Бұл мақалада Жетісу аймағында жайылымдық жерлерді суару жағдайында жер асты суларының жағдайы мен әлеуетін бағалауға бағытталған гидрогеологиялық зерттеулердің нәтижелері қарастырылады. Әртүрлі геологиялық орталарда – тау бөктеріндегі жазықтарда, құмды массивтерде және тау аралық бассейндерде жер асты суларының сапасын, тұздылығын және ағын жылдамдығын талдау жүргізілді. Далалық зерттеулер барысында жұмыс істеп тұрған құдықтар мен ұңғымалардан су сынамалары алынып, су алу құрылыстарының тозу деңгейі бағаланды және су нүктелерінің картасы жасалды.

Зерттеу нәтижелері мал шаруашылығы қажеттіліктеріне пайдалануға жарамды тұщы және әлсіз тұзданған жерасты суларының едәуір қоры бар екенін көрсетті. Сонымен қатар, сумен жабдықтау инфрақұрылымының айтарлықтай тозғаны анықталды: ұңғымалардың басым бөлігі қайта жаңғыртуды қажет етеді, ал механикаландыру деңгейі төмен күйде қалып отыр, себебі гидрогеологиялық ұңғымалардың көпшілігі Кеңес дәуірінде бұрғыланған. Қазіргі деректерге сүйене отырып, суару жүйесін қалпына келтіру және жаңғырту бойынша шаралар ұсынылады, соның ішінде инновациялық технологияларды енгізу және ведомствоаралық ынтымақтастықты күшейту. Ауыл шаруашылығына мемлекеттік субсидиялар, соның ішінде жаңа гидрогеологиялық ұңғымаларды бұрғылау 70%-ға дейін жетеді. Жайылымдық мал шаруашылығын тұрақты дамыту үшін су алу құрылымдарын қалпына келтіру және жер асты суларын басқарудың заманауи тәсілдерін енгізу қажеттілігі негізделген.

Түйінді сөздер: жайылымдар, жер асты сулары, суару, гидрогеология, сумен жабдықтау.

THE ROLE OF GROUNDWATER-BASED PASTURE IRRIGATION IN THE DEVELOPMENT OF TRANSHUMANT LIVESTOCK FARMING IN THE ZHETYSU REGION

Tazhiyev S.R.* – PhD, Leading Researcher, Laboratory of Industrial and Geothermal Waters, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Murtazin Ye.Zh. – Deputy Director for Science, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Rakhimova V.S. – PhD, Leading Researcher, Laboratory of Simulating Hydrodynamic and Geocological Processes, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Alimgazina A.K. – Master of Engineering Sciences, Researcher, Laboratory of Groundwater Resources, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

In the arid climate of Kazakhstan's southern regions, the development of pasture livestock farming directly depends on a stable water supply. Groundwater, as a more reliable source than surface water, plays a key role in meeting the drinking needs of livestock and service personnel due to natural and climatic changes, anthropogenic factors, and the problem posed by the transboundary Ili River. The Ili River flows through two countries, the People's Republic of China and the Republic of Kazakhstan. This article examines the results of hydrogeological studies conducted in the Zhetysu region aimed at assessing the state and potential of groundwater in the context of pastureland irrigation. An analysis of groundwater quality, salinity, and flow rates was conducted in various geological settings—foothill plains, sandy massifs, and intermontane basins. Field surveys included sampling from existing wells and boreholes, assessing the deterioration of water intake structures, and mapping water points.

The results revealed the presence of significant fresh and slightly brackish groundwater resources, suitable for livestock farming, among other needs. However, critical degradation of the water supply infrastructure was identified: most wells require reconstruction, and the level of mechanization remains low, as almost all hydrogeological wells were drilled during the Soviet era. Measures are proposed to restore and modernize the irrigation system based on current data, including the introduction of innovative technologies and enhanced interdepartmental cooperation. Government subsidies for agriculture, including drilling new hydrogeological wells, reach up to 70%. The need to restore water intake structures and implement modern approaches to groundwater management for the sustainable development of pasture-based livestock farming is substantiated.

Keywords: pastures, groundwater, irrigation, hydrogeology, water supply.

Введение. В настоящее время из 186,4 млн. га пастбищных территорий страны более 56,5% пастбищных угодий не используется по причине отсутствия обводнения, то есть отсутствия инженерных сооружений для водопоя скота, питьевого и бытового водоснабжения обслуживающего персонала.

Обводнение пастбищ Южного Казахстана. Пять областей Южного региона охватывают территорию 37 546 000 га. Из них площадь пастбищ составляет 3 091 816 га. Наибольшая площадь обводненных пастбищ находится в **Жетысуской области (4920 тыс. га)**, Наименьшая в Кызылординской области (458,2 тыс. га). При этом наибольшее поголовье скота содержится в Туркестанской области (4872816 голов), наименьшее – в Кызылординской (499080 голов). Общее водопотребление, соответственно,

наибольшее – в **Жетысуской области (10573,46 тыс. м³/год)** и наименьшее в Кызылординской – 4476,33 тыс. м³/год (рисунок 1).

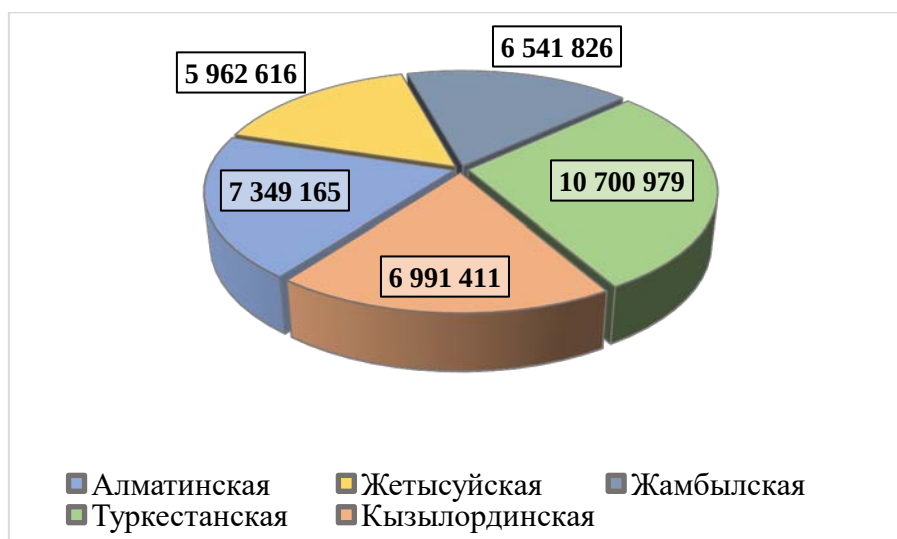


Рисунок 1 – Обводнение пастбищ Южного Казахстана, в том числе и по Алматинской области

По данным Министерства сельского хозяйства в республике до 60,0% пастбищ значатся обводненными на протяжении более 10 последних лет, что не соответствует действительности. После ликвидации государственных и коллективных форм собственности в сельском хозяйстве многие объекты водной инфраструктуры на пастбищных территориях оказались бесхозными и вышли из строя. В заявленной программе впервые в условиях независимого государства рассматриваются проблемы обводнения пастбищных территорий и разрабатывается научно-практическое обоснование устойчивого развития отечественного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий пресными и маломинерализованными подземными водами.

Глобальные объемы подземных вод, используемых для водопоя скота, невелики по сравнению с объемами, используемыми для орошения кормовых культур для скота. Орошаемое производство кормов составляет 98% воды (поверхностной и подземной), используемой для скота, а оставшиеся 2% воды используются для питья и охлаждения. В мире, по экспертным оценкам, 264 км³ поверхностных и подземных вод в год используется для производства кормов, что составляет примерно пятую часть общего объема потребляемой воды для аграрного сектора и менее трети воды, используемой для продовольственных культур [1, с.209].

Для Казахстана пастбища являются важными природными ресурсами, так как на нашей территории с древних времен развито животноводство, в том числе и отгонное.

Особенностью естественных пастбищ является сезонность их использования. Удельный вес летних пастбищ составлял 30%, весенне-осенних – 43%, зимних – 12% и круглогодичных – 12%. Освоение пастбищ связано с состоянием их обводненности, с ростом которой увеличивается выход животноводческой продукции [2, с.36-48; 3, с.358-367].

Многие засушливые и полусухие пастбища полностью зависят от доступа к подземным водам для поддержания питьевой воды для скота. Гидрогеологические скважины способствуют более высокому коэффициенту поголовья, чем пропускная способность пастбищ с точки зрения естественной растительности для выпаса скота, а также концентрируют скот вокруг скважин.

В конце 80-х годов на территории республики 115 млн. га пастбищ было обводнено за счет подземных вод. На пастбищных территориях имелось 36 тыс. шахтных и 24 тыс. трубчатых колодцев, 8 тыс. прудов и копаней, 50 тыс. км каналов и 2,2 тыс. обводнительных водопроводов, фактический водоотбор при этом составлял 13,4 м³/с (422,0 млн. м³/год), но к концу столетия снизился почти в три раза до 4,02 м³/с (126,8 млн. м³/год) [4, с. 420-428; 5, с.284; 6, с.1297; 7, с.482].

В современный период из-за низкого уровня ремонтно-эксплуатационных работ ежегодно списываются тысячи обводнительных сооружений, реконструкции требуют 70-80% из них. Уровень механизации составляет чуть больше 80%. Обводнение пастбищ, в целом, не обеспечивает потребности все возрастающего поголовья скота, не говоря уже о проведении мероприятий по увеличению продуктивности естественных и созданию культурных пастбищных угодий.

Наращивание объемов забора подземных вод потребует, помимо роста числа наиболее надежных сооружений – водозаборных скважин, применения более эффективного оборудования для водоподъема, применения технологических схем очистки и подготовки водных ресурсов до норм питьевого водоснабжения, обеспечивающего интенсификацию отгонного животноводства. Для опреснения минерализованных вод существуют системы, в которых применяется одна из следующих технологий: дистилляция, обратный осмос, электродиализ, вымораживание и ионный обмен.

На пастбищных территориях страны для обводнения отгонных пастбищ и хозяйственно-бытовых нужд в отдаленных поселках, не имеющих доступ к централизованному водоснабжению и запасов пресной воды, используются технологии опреснения солоноватых (минерализованных) вод. Использование опреснительных обратноосмотических установок производительностью до 10 м³/час широко распространено среди крестьянских хозяйств для водопоя скота и бытовых целей. Используются установки на основе обратного осмоса Иранского, Китайского и Казахстанского производства с потребностью в электричестве до 5 квт.час и работающие при исходной минерализации от 1 до 10 г/л.

Методы и материалы

Региональные экспедиционные гидрогеологические исследования территорий области Жетысу с отбором проб подземных вод для химико-лабораторных исследований проведены для оценки современного состояния обводнения пастбищных территорий.

На рисунке 2 показана территория исследования (область Жетысу).

В предполевой период, на основе архивных и опубликованных данных по распределению обводненных пастбищ, по количеству, местоположению и географическим координатам водопунктов, по распределению и водоотбору водозаборных сооружений были составлены каталоги координат скважин и обводнительных колодцев, разработаны предварительные карты-схемы маршрутных обследований в границах административных районов области.

Наземные экспедиционные исследования проведены в период с сентября по октябрь 2024 года.

В области Жетысу в процессе полевых маршрутов обследовано 11 шахтных колодцев, 12 скважин. Протяженность маршрутов составила 2,5 тыс. км, маршрутами охвачены территории Каратальского, Саркандского, Аксуского и Алакольского районов области. Всего было отобрано 23 пробы воды.

Лабораторный анализ проб воды, отобранных из обследованных водопунктов (скважин, колодцев и родников), выполнен в октябре 2024 года Лабораторией химико-аналитических исследований Института. Всего проанализировано 23 пробы 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, превышение содержания по которым свидетельствует о наличии загрязнения. 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



Рисунок 2 – Территория исследования (область Жетысу)

На рисунке 3 показана карта маршрутного обследования по области Жетысу.

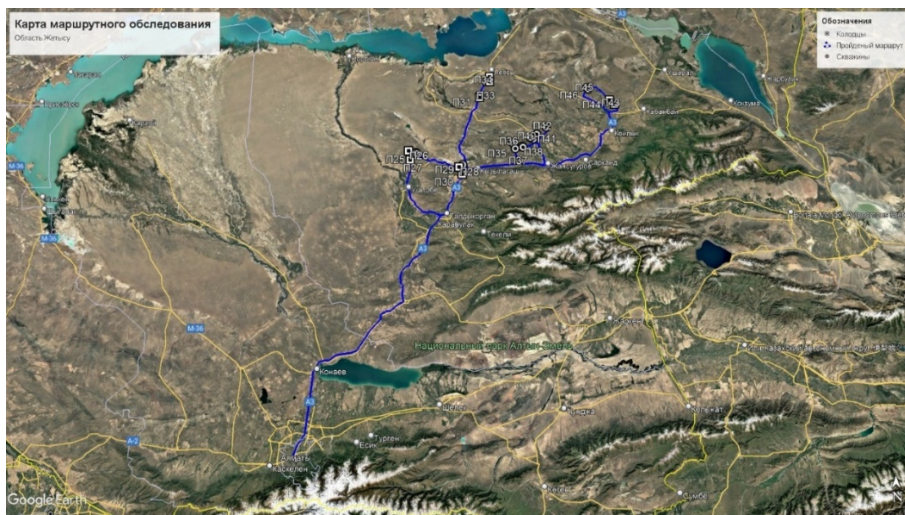


Рисунок 3 – Карта маршрутного обследования по области Жетысу

В Каратальском районе обследованы 1 скважина и 3 колодца, расположенные вблизи зимовок севернее от города Уштобе. В Саркандском районе проведено обследование 4 колодцев восточнее трассы Мата–Лепсы. В Аксуском районе при проведении полевых работ обследованы 9 скважин и 2 колодца, на территориях зимовок и КХ, вблизи населенных пунктов Кызылагаш, Копа, Кызылту, Оним, Аксу и Жаналык. В Алакольском районе, севернее населённого пункта Кольбай, обследованы 2 скважины и 2 колодца.

Часть скважин и колодцев также используются местными жителями для хозяйственно-бытовых нужд.

Результаты и обсуждение

Благоприятная по своим природно-климатическим и социально-экономическим условиям область Жетысу имеет все необходимые предпосылки для интенсивного развития отгонного животноводства. Здесь имеются высокопродуктивные пастбища и необходимые доброкачественные подземные водные ресурсы.

Гидрогеологическая карта области Жетысу, изображённая на рисунке 4, представляет собой картографическую модель, отражающая условия залегания, закономерности распределения и формирования подземных вод.

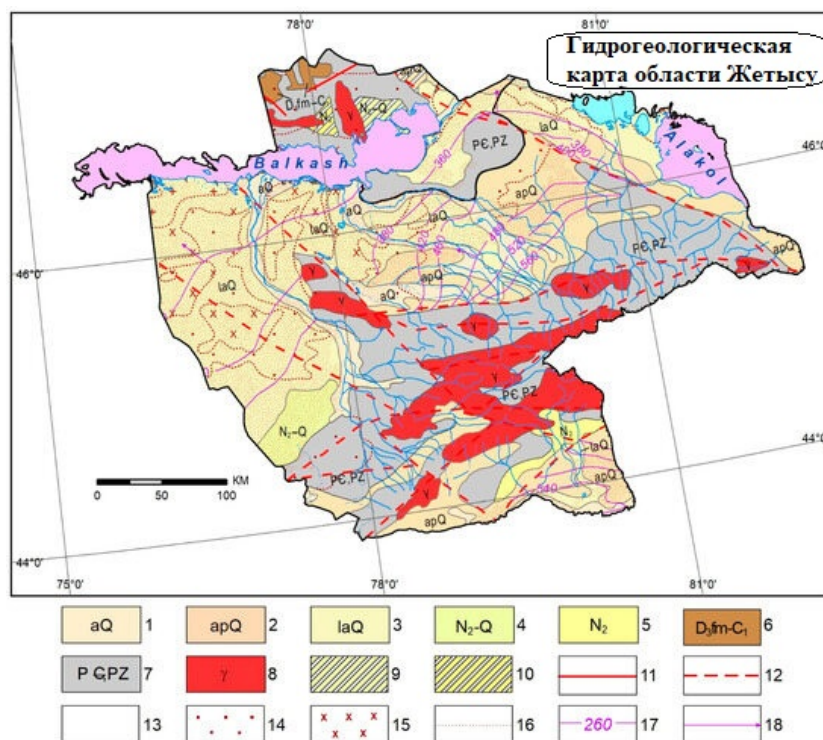


Рисунок 4 – Гидрогеологическая карта области Жетысу

Водоносные горизонты и комплексы, зоны разлома в водоносных горизонтах: 1 – Четвертичный аллювиальный комплекс. Пески, песчаные суглинки, суглинки, галька, гравий-галька; 2 – Четвертичный аллювиально-пролювиальный комплекс. Валунные и гравийные гальки, пески, промежуточные слои суглинков, песчаные суглинки; 3 – Четвертичный озёрно-аллювиальный комплекс. Пески, суглинки, суглинки, глины; 4 – Плиоценово-четвертичный комплекс. песчаники, песчаники, гравий с промежуточными ила, песчаные суглинки, суглинки и глины; 5 – Плиоценовый комплекс. Гравийно-гальки, пески с включениями гальки, реже каменные гальки, неравномерно граничные пески, песчаные суглинки, суглинки; 6 – комплекс преимущественно фанеритско-нижнекарбонатного трещинных и карстовых карбонатных пород. известняки, доломиты, песчаники на карбонатном цементе; 7 – зона трещины докембрийских недифференцированных палеозойских пород. Сланцы, кварциты, гнейсы; 8 – зона разрушения разного возраста, преимущественно интрузивных пород. Граниты, гранодиориты. Местные водоносные горизонты и комплексы: 9 – Неоген-четвертичный период (N_2-Q). Песчаные промежуточные слои среди глин; 10 – Неоген (N_1, N_2, N_{1-2}). Песчаные и гравийные промежуточные слои среди глин. Гидрогеологические единицы распределены линейно. Зоны разлома: 11 – водоносные горизонты; 12 – гидрогеологически неисследованные. Минерализация подземных вод первых водоносных горизонтов и комплексов поверхности Земли, г/л: 13—<1 г/л; 14—1–3 г/л; 15—3–10 г/л; 16 – граница участков подземных вод с разной минерализацией. Движение грунтовых вод: 17 – гидроизогипсы с абсолютным уровнем грунтовых вод – м; 18 – направление потока грунтовых вод первых водоносных горизонтов и комплексов с поверхности Земли.

На рисунке 5 показана карта расположения типов пастбищных массивов в пределах области Жетысу.

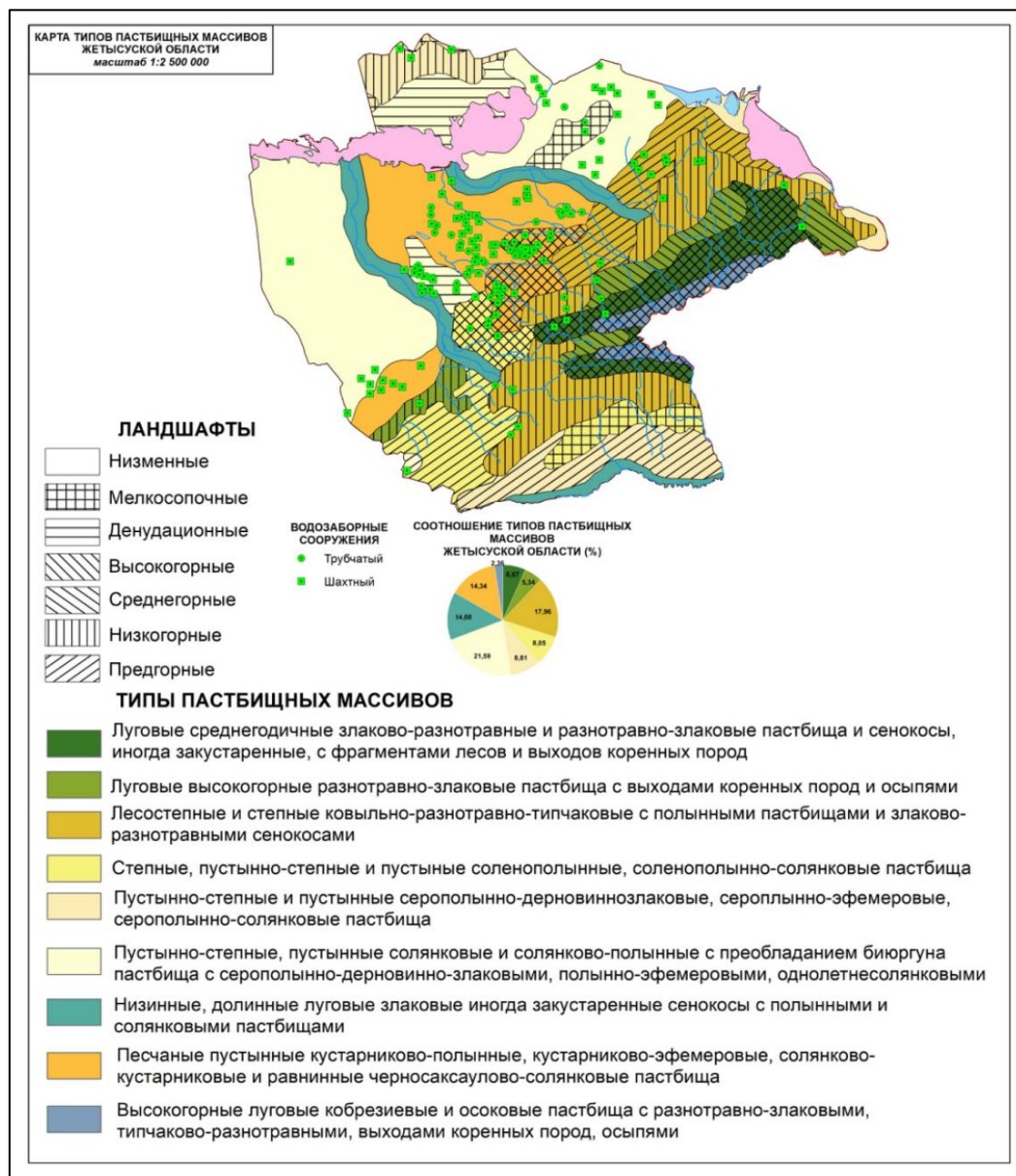


Рисунок 5 – Карта расположения типов пастбищных массивов в пределах области Жетысу

Практически вся территория области располагается в Жетысу Алатау-Балкашском гидрогеологическом районе I порядка, входящем в состав Жетысу Алатау-Тянь-Шаньского региона. Здесь выделяются крупные бассейны безнапорных поровых и напорных порово-пластовых подземных вод (восточная часть Южно-Балкашского, южная часть Алакольского, северная часть Копя-Илейского) и бассейны трещинных вод (Жетысу-Алатауский, Кунгей-Алатауский). Северо-восточная часть области Жетысу входит в состав Северо-Балкашского бассейна трещинных вод.

Основные запасы пресных подземных вод приурочены к водоносным горизонтам четвертичных, неогеновых, палеогеновых, меловых отложений, распространенных в межгорных впадинах. Они играют основную роль в вопросах обеспечения населения питьевой водой, особенно крупных водопотребителей. Бассейны трещинных вод характеризуются значительно меньшими запасами пресных подземных вод, вместе с тем их широкое распространение на территории области придает им большой практический интерес при использовании для обеспечения более мелких водопотребителей.

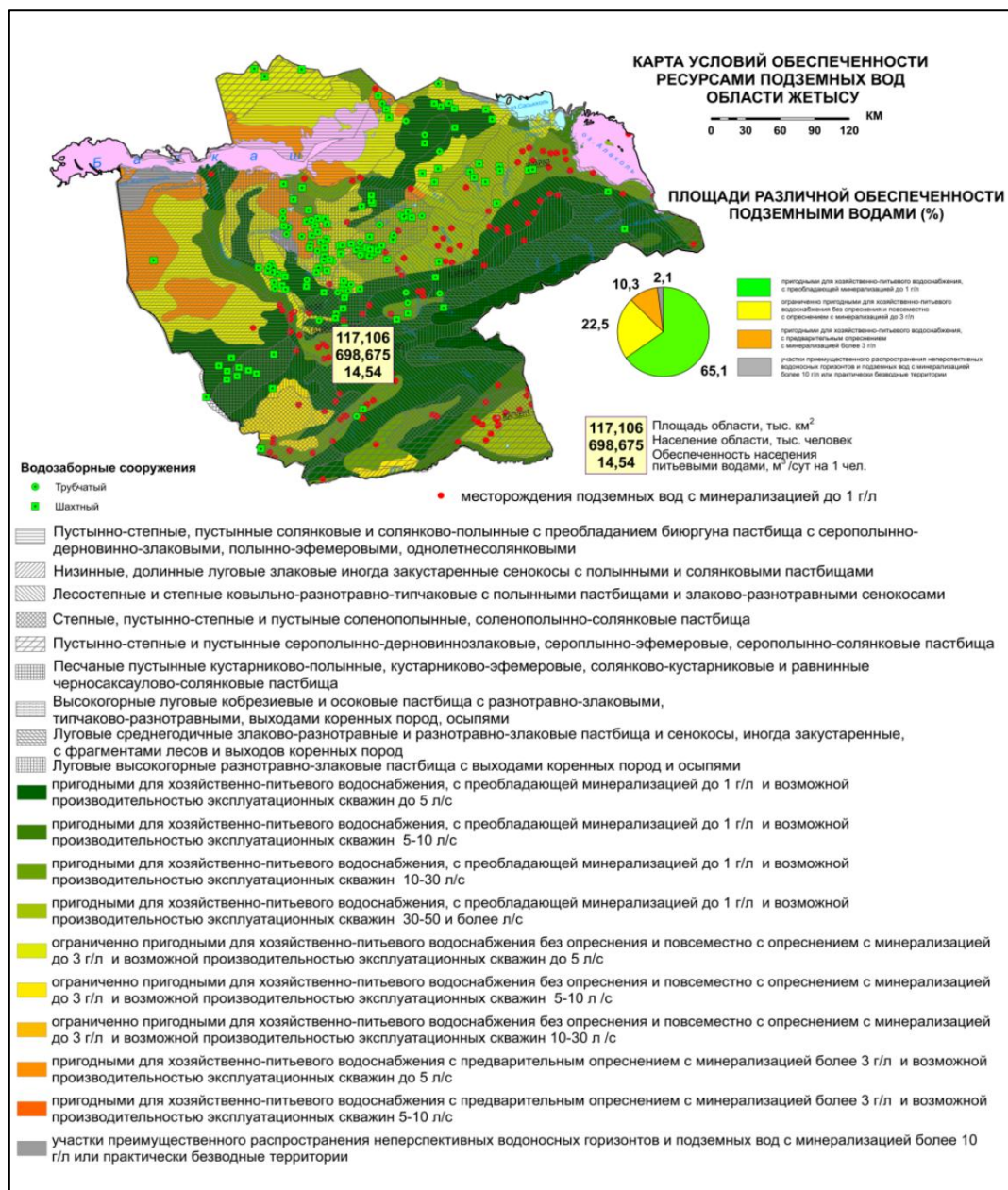


Рисунок 6 – Карта условий обеспеченности ресурсами подземных вод в пределах пастбищных массивов области Жетысу

Наиболее перспективные для использования следующие водоносные горизонты и комплексы:

а) Подземные воды четвертичных аллювиально-пролювиальных валунно-галечниковых и гравийно-галечниковых образований, предгорных равнин северного и южного склонов Жетысу Алатау. Залегают на глубинах 5-200 м при мощности водовмещающих пород 400-500 м. Дебиты скважин изменяются от 3-50 до 100-120 л/с. Воды повсеместно пресные с минерализацией до 0,5, реже до 1 г/л.

б) Подземные воды четвертичных аллювиально-пролювиальных отложений Актогайской впадины в долине р. Аягоз (Северо-Балхашский бассейн). Дебиты скважин достигают более 50 л/с, воды преимущественно с минерализацией 0,4 до 1 г/л, реже встречаются воды с минерализацией до 1-3 г/л.

в) Подземные воды четвертичных эолово-аллювиальных и аллювиальных отложений песчаных массивов Южного Прибалхашья и долины рек Каратал, Лепси, Аксу. Залегают на глубине 5-30, местами до 100 м, дебиты скважин 0,5-10 л/с. Воды пресные и солоноватые, по мере приближения к оз. Балкаш минерализация их возрастает до 3-10 и более г/л.

г) Подземные напорные воды неогеновых, палеогеновых и меловых отложений. Вскрыты на территории межгорных впадин на глубинах 150-300 и более 1000 м. Они обладают значительными напорами. Дебиты скважин достигают 50-60 л/с. В Жаркентской впадине на глубинах 800-3500 м вскрыты высокотемпературные пресные подземные воды, связанные с верхнемеловыми отложениями.

Эксплуатационные запасы подземных вод равны 120,5 м³/с, в том числе с минерализацией до 1 г/л – 120,4 м³/с. На 1 км² приходится 1,015 л/с эксплуатационных запасов подземных вод с минерализацией до 1 г/л [12, с.304;13, с.632].

Заключение. Результаты гидрогеологических исследований, выполненных в пределах области Жетысу, свидетельствуют о наличии значительных ресурсов подземных вод, пригодных в том числе и для целей обводнения пастбищ. На территории региона выявлены разнообразные гидрогеологические условия – от высокопродуктивных участков предгорных равнин до песчаных массивов со значительными запасами пресных вод до малопродуктивных участков тектонических разломов.

Наиболее перспективными с точки зрения водообеспечения являются предгорные равнины и песчаные массивы, в пределах которых выявлены участки с высокими дебитами скважин и колодцев, а также с удовлетворительными гидрохимическими характеристиками качества подземных вод. На данных территориях в советское время были разведаны крупные месторождения подземных вод, в том числе и для обводнения пастбищ исследуемой территории. Результаты маршрутов и анализа проб подтверждают пригодность подземных вод для нужд животноводства.

Несмотря на наличие природных предпосылок, фактический уровень водообеспечения пастбищ остаётся достаточно низким. Деградация водозаборной инфраструктуры, высокая степень износа инженерных сооружений, недостаточный уровень механизации и нерегулярное техническое обслуживание приводят к неэффективному использованию имеющихся ресурсов. На сегодняшний день восстановления и реконструкции требуют от 70 до 80% существующих водопунктов.

Учитывая стратегическое значение животноводства для продовольственной безопасности и социально-экономического развития сельских территорий региона, особую актуальность приобретает модернизация системы обводнения.

Для решения проблемы низкого уровня водообеспечения пастбищ необходимо предпринять следующие меры:

- Разработать республиканскую и региональные программы по восстановлению и техническому перевооружению обводнительных сооружений на основе гидрогеологических данных;
- Расширить применение инновационных решений, таких как солнечные насосные станции и системы автоматизированного учёта и контроля водозабора;
- Стимулировать инвестиции в устойчивое водопользование;
- Организовать постоянный мониторинг состояния подземных вод и инфраструктуры водоснабжения, включая химический состав и динамику количественных показателей.

Комплексное развитие системы обводнения на базе научных данных и современных подходов к управлению водными ресурсами позволит значительно повысить продуктивность пастбищ, улучшить условия содержания скота и создать основу для устойчивого развития животноводства в условиях засушливого климата региона.

Некоторые меры, которые необходимо включить в комплекс мероприятий:

- Локальное кормопроизводство с использованием подземных вод. Это увеличит продуктивность естественных пастбищных угодий и позволит снизить кормовую нагрузку на окружающий фон;
- Внедрение водосберегающих технологий орошения. Они помогут сэкономить 20–30% оросительной воды и увеличить продуктивность использования водных ресурсов в 2,0–2,5 раза;
- Развитие системы гидрогеолого-мелиоративного мониторинга. Она позволит улучшить состояние орошаемых земель;
- Повышение технического состояния гидротехнических сооружений. Это обеспечит гарантированное водообеспечение отраслей экономики и снизит угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций.

Информация о финансировании. Финансирование данного исследования было обеспечено Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан: BR 24992885 «Научно-практическое обоснование устойчивого развития отечественного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий подземными водами».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Касенов М.Р., Копанев Г.В. Обводнение пастбищ Казахстана: монография [Текст] М.Р. Касенов, Г.В. Копанев. – Алма-Ата: Кайнар, 1989. – 209 с.
2. Омбаев А., Мирзакулов С., Чиндалиев А. Научно-технологические аспекты развития животноводства Казахстана [Текст] / А. Омбаев, С. Мирзакулов, А. Чиндалиев // *Izdenister natigeler*. – 2023. – №3(99). – 36-48 с. – DOI: <https://doi.org/10.37884/3-2023/04>.
3. Усипбаев Г., Омарбекова А., Сагандыкова Д., Бегазимов Д. Анализ формирования земель сельскохозяйственного назначения в Казахстане [Текст] / Г. Усипбаев, А. Омарбекова, Д. Сагандыкова, Д. Бегазимов // *Izdenister Natigeler*. – 2024. – No4(104). – 358-367 с. – DOI: <https://doi.org/10.37884/4-2024/37>.
4. Тоқтар Ә.Т., Нургазиева А.А., Рахметов И.К. Обводнение пастбищ подземными водами как фактор развития отгонного животноводства в Жамбылской области [Текст] / Ә.Т. Тоқтар, А.А. Нургазиева, И.К. Рахметов // *Izdenister Natigeler*. – 2025. – №3(107). – 420-428 с. – DOI: <https://doi.org/10.37884/3-2025/40>.
5. Сыдыков Ж.С. Подземные воды Казахстана. Ресурсы, использование и проблемы охраны: монография [Текст] / Отв. ред. акад. НАН РК Сыдыков Ж.С. – Алматы: Ғылым, 1999. – 284 с.
6. Tazhiyev S., Murtazin Ye., Sotnikov Ye, Rakhimova V., Adenova D., Abdizhalel M. and Yerezhep D. Geoinformation and Analytical Support for the Development of Promising Aquifers for Pasture Water Supply in Southern Kazakhstan [Текст] / Tazhiyev S., Murtazin Ye., Sotnikov Ye, Rakhimova V., Adenova D., Abdizhalel M. and Yerezhep D. // – *Water* 2025, 17, 1297. <https://doi.org/10.3390/w17091297>.
7. Adenova D.; Tazhiyev S.; Sagin J.; Absametov M.; Murtazin Y.; Trushel L.; Miroshnichenko O.; Zaryab A. Groundwater Quality and Potential Health Risk in Zhambyl Region, Kazakhstan [Текст] / Adenova D.; Tazhiyev S.; Sagin J.; Absametov M.; Murtazin Y.; Trushel L.; Miroshnichenko O.; Zaryab A. // – *Water*. –2023. –Vol. 15. –P. 482. – DOI: <https://doi.org/10.3390/w15030482>.
8. Оңласынов Ж.Ә., Рахимов Т.А., Муратова М.М., Акынбаева М.Ж. Оценка качества подземных вод пастбищных территорий Южного Казахстана [Текст] / Ж.Ә. Оңласынов, Т.А. Рахимов, М.М. Муратова, М.Ж. Акынбаева // Многопрофильный научный журнал “3i –интеллект, идея, инновация”. – 2025. – № 1. – 174-181 с. – DOI: https://doi.org/10.52269/22266070_2025_1_174.
9. Murtazin Ye. Zh, Adenova D.K., Tazhiyev, S.R. Assessment of the potential of self-discharging hydrogeological wells for sustainable development of rural areas of Zhambyl region [Текст] / Murtazin Ye. Zh, Adenova D.K., Tazhiyev, S.R. // – *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. – 2022. –Vol. 5. –P. 143-155. – DOI: <https://doi.org/10.32014/2518-170x.223>.
10. Серимбетов А.Е., Асу А.А. Подземные источники обводнения пастбищ юга Казахстана [Текст] / А.Е. Серимбетов, А.А. Асу // *Integration of the Scientific Community to the Global Challenges of Our Time – Materials of the III International Scientific-Practical Conference. Kyoto, Japan*. – 2018. – P. 412.
11. Аденова Д.К., Муртазин Е.Ж., Мирошниченко О.Л. Оценка состояния и качества гидрогеохимических показателей артезианских подземных вод Жамбылской области / Д.К. Аденова, Е.Ж. Муртазин, О.Л. Мирошниченко [Текст] // *География и водные ресурсы*. – 2024. – №4. – 75-83 с. – DOI: <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-75-83.41>.
12. Абсаметов М.К. Ресурсный потенциал подземных вод Казахстана как источник устойчивого питьевого водообеспечения: монография [Текст] / Под ред. акад. НАН РК Абсаметова М. К. – Алматы: Printexpress. – 2023. – 304 с.
13. Смоляр В.А., Буров Б.В., Мустафаев С.Т. Ресурсы подземных вод Республики Казахстан: Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление: монография [Текст]. – Алматы. –2011. – 632 с.

REFERENCES:

1. Kasenov M.R., Kopanев G.V. Obvodnenie pastbishh Kazahstana: monografiya [Watering of pastures in Kazakhstan: monograph]. Alma-Ata, Kajnar, 1989, 209 p. (In Russian)
2. Ombaev A., Mirzakulov S., Chindaliev A. Nauchno-tehnologicheskie aspekty' razvitiya zhivotnovodstva Kazahstana [Technological aspects of the development of livestock farming in Kazakhstan]. *Izdenister natigeler*, 2023, no. 3(99), pp. 36-48. <https://doi.org/10.37884/3-2023/04>. (In Russian)
3. Usipbaev G., Omarbekova A., Sagandykova D., Begazimov D. Analiz formirovaniya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v Kazahstane [Analysis of the formation of agricultural lands in Kazakhstan]. *Izdenister natigeler*, 2024, no. 4(104), pp. 358-367. <https://doi.org/10.37884/4-2024/37>. (In Russian)
4. Toktar A.T., Nurgazieva A.A., Rahmetov I.K. Obvodnenie pastbishh podzemny'mi vodami kak faktor razvitiya otgonnogo zhivotnovodstva v Zhambyl'skoj oblasti [The role of groundwater-based pasture irrigation in the development of transhumant livestock farming in the Zhambyl region]. *Izdenister natigeler*, 2025, no. 3(107), pp. 420-428. <https://doi.org/10.37884/3-2025/40>. (In Russian)
5. Sydykov Zh.S.. Podzemny'e vody' Kazahstana. Resursy', ispol'zovanie i problemy' ohrany' [Groundwater of Kazakhstan. Resources, use and problems of protection]. Almaty, Gylym, 1999, 284 p. (In Russian)

6. Tazhiyev S., Murtazin Ye., Sotnikov Ye, et al. Geoinformation and analytical support for the development of promising aquifers for pasture water supply in Southern Kazakhstan. *Water*, 2025, vol. 17, iss. 9, art. 1297. <https://doi.org/10.3390/w17091297>.
7. Adenova D., Tazhiyev S., Sagin, J., et al. Groundwater quality and potential health risk in Zhambyl region, Kazakhstan. *Water*, 2023, vol. 15, art. 482. <https://doi.org/10.3390/w15030482>.
8. Onlasyanov Zh.A., Raximov T.A., Muratova M.M., Akynbaeva M.Zh. Ocenka kachestva podzemny'h vod pastbishhny'h territorij Yuzhnogo Kazakhstana [Assessment of groundwater quality in pasture areas of Southern Kazakhstan]. *3i: intellect, idea, innovation*, 2025, no. 1, pp. 174-181. https://doi.org/10.52269/22266070_2025_1_174. (In Russian)
9. Murtazin Ye.Zh., Adenova D.K., Tazhiyev S.R. Assessment of the potential of selfdischarging hydrogeological wells for sustainable development of rural areas of Zhambyl region. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 2022, vol. 5, pp. 143-155. <https://doi.org/10.32014/2518-170x.223>.
10. Serimbetov A.E., Asu A.A. Podzemny'e istochniki obvodneniya pastbishh yuga Kazakhstana [Underground sources of pasture waterlogging in southern Kazakhstan]. *Integration of the Scientific Community to the Global Challenges of Our Time. Materials of the III International Scientific-Practical Conference*, Kyoto, Japan, 2018, 412 p. (In Russian)
11. Adenova D.K., Murtazin E.Zh., Miroshnichenko O.L. Ocenka sostoyaniya i kachestva gidrogeohimicheskikh pokazatelej artezijskikh podzemny'h vod Zhambyl'skoj oblasti [Assessment of the state and quality of hydrogeochemical parameters of artesian groundwater in the Zhambyl region]. *Geografiya i vodny'e resursy*, 2024, no. 4, pp.75-83. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-75-83.41>. (In Russian)
12. Absametov M.K. Resursny'j potencial podzemny'h vod Kazakhstana kak istochnik ustojchivogo pit'evogo vodoobespecheniya [The resource potential of Kazakhstan's groundwater as a source of sustainable drinking water supply]. *Almaty, Print express*, 2023, 304 p. (In Russian)
13. Smolyar V.A., Burov B.V., Mustafaev S.T. Resursy' podzemny'h vod Respubliki Kazahstan: Vodny'e resursy' Kazakhstana: ocenka, prognoz, upravlenie [Groundwater resources of the Republic of Kazakhstan: Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management]. *Almaty*, 2011, 632 p. (In Russian)

Сведения об авторах:

Тажиев Султан Рысниязович* – PhD, ведущий научный сотрудник лаборатории промышленных и геотермальных вод, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Уалиханова 94, e-mail: sula_tashiev@mail.ru.

Муртазин Ермек Жамшитович – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Уалиханова 94, e-mail: ye_murtazin@list.ru.

Рахимова Валентина Станиславовна – PhD, ведущий научный сотрудник Лаборатории моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Уалиханова 94, e-mail: salybekova_v@mail.ru.

Алимгазина Айгерим Крымджанқызы – магистр технических наук, научный сотрудник Лаборатории ресурсов подземных вод, ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Уалиханова 94, e-mail: krymdjanovna@gmail.com.

Тажиев Сұлтан Рысниязұлы* – PhD, Өнеркәсіптік және геотермалдық сулар зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, e-mail: sula_tashiev@mail.ru.

Муртазин Ермек Жәмшитұлы – геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, Директордың ғылым жөніндегі орынбасары, «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, e-mail: ye_murtazin@list.ru.

Рахимова Валентина Станиславовна – PhD, Гидродинамикалық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, e-mail: salybekova_v@mail.ru.

Алимгазина Айгерим Крымджанқызы – инженерлік ғылымдар магистрі, жер асты сулары ресурстары зертханасының ғылыми қызметкері, «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, e-mail: krymdjanovna@gmail.com.

Tazhiyev Sultan Rysniyazovich* – PhD, Leading Researcher, Laboratory of Industrial and Geothermal Waters, Ahmedsavin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience LLP, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Ualikhanov Str., e-mail: sula_tashiev@mail.ru.

Murtazin Yermek Zhamshitovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director for Science, Ahmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience LLP, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Ualikhanov Str., e-mail: ye_murtazin@list.ru.

Rakhimova Valentina Stanislavovna – PhD, Leading Researcher, Laboratory of Simulating Hydrodynamic and Geocological Processes, Ahmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience LLP, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Ualikhanov Str., e-mail: salybekova_v@mail.ru.

Alimgazina Aigerim Krymdzhankyzy – Master of Engineering Sciences, Researcher, Laboratory of Groundwater Resources, Ahmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience LLP, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Ualikhanov Str., e-mail: krymdjanovna@gmail.com.

МРНТИ 68.47.03; 68.47.29

УДК 582.734.2

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621230>

SPIRAEA L. В КОЛЛЕКЦИЯХ КАЗАХСКОГО НИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ ИМ. А.Н. БУКЕЙХАНА

Чеботько Н.К. * – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, «Казахский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», г. Щучинск, Республика Казахстан.

Крекова Я.А. – PhD, заведующая отделом, «Казахский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», г. Щучинск, Республика Казахстан.

Раушан Ә.Б. – магистрант 2 курса, «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

В статье рассматриваются вопросы роста и развития интродуцированных видов и сортов рода *Spiraea* в коллекционных посадках дендропарка, арборетума и новых сортов в школах Казахского НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана. В объектах интродукции проходят испытание 14 видов и сортов декоративных кустарников из указанного рода. Дана краткая характеристика многолетних климатических условий района исследования, длительности вегетационного периода. Климатические условия Северного Казахстана характеризуются резкой континентальностью, которая выражается в низких зимних и высоких летних температурах, поздними весенними и ранними осенними заморозками, малым количеством осадков. Приведены данные по морфологическим параметрам, началу и продолжительности цветения некоторых видов и сортов *Spiraea*. Новые сорта спиреи наряду с ранее культивируемыми показали высокую устойчивость к неблагоприятным погодным условиям. Отмечалось первое цветение у двух новых сортов: «Dart's Red» и «Anthony Waterer». Приведена сравнительная характеристика наших исследований с литературными данными по срокам цветения и росту сортов *Spiraea*. Выделены группы кустарников по высоте и текущему приросту. Изученные виды и сорта спиреи в основном отмечались средним и низким ростом в сравнении с литературными данными. Даны рекомендательные предложения по применению сортов *Spiraea* в различных посадках Северного Казахстана.

Ключевые слова: *Spiraea*, дендропарк, арборетум, кустарник, сорт, декоративность, высота.

SPIRAEA L. КОЛЛЕКЦИЯЛАРЫНДА Ә.Н. БӨКЕЙХАН АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ОРМАН ШАРУАШЫЛЫҒЫ ЖӘНЕ АГРООРМАНМЕЛИОРАЦИЯ ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ

Чеботько Н.К. * – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, «Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институты», Щучинск қ., Қазақстан Республикасы.

Крекова Я.А. – PhD, бөлімінің меңгерушісі, «Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институты», Щучинск қ., Қазақстан Республикасы.

Раушан Ә.Б. – 2 курс магистранты, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті», Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институтының дендропаркінде, арборетумында және мектептік көшеттерінде өсірілетін *Spiraea* туысына жататын интродукцияланған түрлер мен сорттардың өсуі мен дамуы қарастырылған. Интродукция алаңдарында осы тұқымдас сәндік бұталардың 14 түрі мен сорттары сынақтан өтуде. Зерттеу аймағының көпжылдық климаттық жағдайлары мен вегетациялық кезеңнің ұзақтығына қысқаша сипаттама берілген. Солтүстік Қазақстан климатының ерекшелігі – күрт континенттілігімен сипатталады, яғни қыста температураның өте төмен, ал жазда жоғары болуымен, көктемгі кеш және күзгі ерте үсіктермен, сондай-ақ жауын-шашынның аз мөлшерімен

ерекшеленеді. *Spiraea* туысының кейбір түрлері мен сорттарының морфологиялық көрсеткіштері, гүлдеуінің басталуы мен ұзақтығы туралы мәліметтер келтірілген. Спиреяның жаңа сорттары бұрын өсірілген сорттармен бірге ауа-райының қолайсыз жағдайларына жоғары төзімділік көрсетті. «Dart's Red» және «Anthony Waterer» атты екі жаңа сорт өзінің алғашқы гүлденуі туралы хабарлады. *Spiraea* сорттарының гүлдеу мерзімі мен өсу ерекшеліктері әдеби деректермен салыстырылып талданған. Бұталар биіктігі мен жылдық өсіміне қарай топтарға бөлінді. Зерттелетін спирея түрлері мен сорттары жарияланған деректермен салыстырғанда әдетте орташа және қысқа бойымен сипатталды. Солтүстік Қазақстан жағдайында *Spiraea* сорттарын әртүрлі отырғызу түрлерінде пайдалану бойынша ұсыныстар берілді.

Түйінді сөздер: *Spiraea*, дендропарк, арборетум, бұта, сорт, сәндік, биіктік.

SPIRAEA L. IN THE COLLECTIONS OF THE A.N. BUKEIKHAN KAZAKH RESEARCH INSTITUTE OF FORESTRY AND AGROFORESTRY

Chebotko N.K.* – Candidate of Agriculture, Leading Researcher, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan.

Krekova Ya.A. – PhD, Head of the Department, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan.

Raushan A.B. – 2nd year Master student, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

The article discusses the growth and development of introduced species and cultivars of the *Spiraea* genus in the collection plantings of the dendrological park, arboretum, and new cultivars in the nurseries of the A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry. Fourteen species and varieties of ornamental shrubs from this genus are being tested at the plant introduction sites. The article provides a brief description of the long-term climatic conditions of the study area and the duration of the growing season. The climate of Northern Kazakhstan is sharp continental, and is characterized by low winter and high summer temperatures, late spring and early autumn frosts, and low precipitation. The article provides data on the morphological parameters, the beginning and duration of flowering of some species and cultivars of *Spiraea*. The new *Spirea* varieties, along with previously cultivated ones, demonstrated high resistance to adverse weather conditions. Two new varieties, 'Dart's Red' and 'Anthony Waterer,' have reported their first flowering. It also provides a comparative analysis of our research with the available literature on the flowering and growth of *Spiraea* cultivars. The article identifies groups of shrubs based on their height and current growth. The *Spirea* species and varieties studied were generally characterized by medium to short stature, compared to published data. The article provides recommendations for the use of *Spiraea* cultivars in various plantings in Northern Kazakhstan.

Keywords: *Spiraea*, dendrological park, arboretum, shrub, variety, ornamental value, height.

Введение. В Казахстане работам по озеленению городов, придомовых территорий, созданию лесопарковых зон уделяется большое внимание на государственном уровне. Президент страны К.-Ж. Токаев поставил перед организациями лесного направления масштабную задачу по увеличению лесистости территории Казахстана. В его Послании от 01.09.2020 года говорится, что в течение 5 лет необходимо посадить 2 млрд. деревьев в лесном фонде и 15 млн. в населенных пунктах. Северный Казахстан характеризуется низким видовым разнообразием естественной дендрофлоры из-за жесткости условий их произрастания. Поэтому для Северного Казахстана особенно актуальным является увеличение ассортимента древесных и кустарниковых пород путем привлечения интродуцентов.

Введение новых перспективных растений для озеленения и культивирования в условиях Северного Казахстана, изучение их биологических особенностей является одной из важных задач, стоящих перед интродукцией. И одним из значимых показателей в решении вопроса о привлечении новых декоративных видов, сортов, форм является оценка их декоративности. Декоративность определяется совокупностью внешних признаков: размерами и формой кроны, продолжительностью цветения, большим разнообразием строения листьев и цветков, их цветовой гаммы в разные периоды вегетации, устойчивостью к неблагоприятным погодным факторам, прежде всего зимостойкостью.

Важная роль в зеленом строительстве наряду с древесными породами отводится кустарникам. Кустарники быстро растут, достигая пика своей декоративности в короткие сроки, легко размножаются и не требуют сложного ухода. Обладая завидной экологической пластичностью и рано вступая в репродуктивный возраст, кустарники идеально подходят для ступенчатой акклиматизации [1, с. 18]. Кустарники – универсальный инструмент в руках ландшафтного архитектора, позволяющий создавать групповые и одиночные посадки, живые изгороди, изысканные садовые композиции и многое другое.

Сегодня, когда мир предлагает нам все больше новых сортов декоративных растений, созданных зарубежными селекционерами, изучение их морфологических признаков и биометрических показателей в новых почвенно-климатических условиях становится особенно важным. Предварительный анализ опыта интродукции в других странах позволил выявить виды, которые не встречаются в существ-

вующих рекомендациях для Северного Казахстана, но при этом демонстрируют прекрасный рост и устойчивость в схожих климатических условиях. Среди них особое место занимают декоративные кустарники рода *Spiraea* L. – истинное сокровище для ландшафтного дизайна.

Привлечение представителей рода *Spiraea* в коллекции обусловлено целым рядом факторов, делающих их незаменимыми в зеленом строительстве и создании гармоничных ландшафтных композиций. Представители рода *Spiraea* давно зарекомендовали себя в ландшафтной архитектуре как надежный и многофункциональный материал. *Spiraea* обладают высокой декоративной ценностью, благодаря изящной форме кроны и листьев, очарованию цветков, продолжительности цветения и вегетации. Они отличаются высокой декоративной ценностью, обусловленной морфологическими качествами кроны и листа, признаками цветка, продолжительностью цветения и вегетации [2, с. 3]. Неприхотливы к условиям произрастания, хорошо адаптируются к различным типам почв, устойчивы к загрязнению воздуха и засухе, что делает их идеальным выбором для городских условий и регионов с суровым климатом.

Род *Spiraea* – многолетние листопадные кустарники, принадлежащие к семейству *Rosaceae*. Этот род многочисленный, на сегодняшний день насчитывает около 130 видов, а также десятки гибридов и сортов. Виды *Spiraea* отличаются друг от друга размерами и формой куста, формой соцветия, окраской цветков, временем начала и окончания цветения. Благодаря этому разнообразию, можно не только украсить сад, но и создать его полностью из различных видов этого растения [3, с. 57].

Spiraea широко используются в садово-парковом строительстве благодаря разнообразию форм и размеров куста, обильному и продолжительному цветению. Зная сроки цветения различных видов, можно добиться непрерывного цветения в течение почти всего вегетационного периода [4, с. 512]. В условиях Курганской области были изучены 2 вида *Spiraea*: *Vanhouttei* (Briot) Zabel и *Billardii*, которые были рекомендованы для зеленого строительства как перспективные и устойчивые к неблагоприятным условиям окружающей среды [5, с. 407]. В условиях лесостепи Алтайского края в ГНУ НИИСС им. М.А. Лисавенко проходят первичное испытание 14 видов и сортов *Spiraea* L. [6, с. 3].

В Москве, в питомнике ГБС им. Н.В. Цицина РАН в коллекциях проводятся интродукционные испытания в условиях открытого грунта около 56 видов и сортов *Spiraea*, продолжающиеся от 10 до 25 лет. Для озеленения в городских условиях рекомендованы виды и сорта *Spiraea*, обладающие наибольшей устойчивостью к антропогенным воздействиям, заболеваниям и неблагоприятным погодным условиям, а также отличающиеся декоративностью формы куста, соцветий и продолжительностью цветения [7, с. 60].

Цель наших исследований заключалась в изучении состояния, особенностей роста и развития видов и сортов рода *Spiraea* в условиях Северного Казахстана, чтобы в дальнейшем ввести в этот регион новые устойчивые виды и сорта.

Задачи:

1. Провести анализ биометрических показателей роста и развития сортов *Spiraea*, включая высоту, прирост, ширину кроны.
2. Дать предложения по использованию декоративных сортов *Spiraea* в озеленении и ландшафтном дизайне.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2025 году в коллекциях дендропарка, арборетума и школах Казахского НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. АН. Букейхана (далее КазНИИЛХА им. А.Н. Букейхана), которые расположены в городе Щучинске Акмолинской области в лесостепной зоне, северной части Казахского мелкосопочника. Высота объектов над уровнем моря составляет 250 м [8, с. 2]. Почвы дендропарка – плодородные черноземовидные аллювиальные супеси, а арборетума – черноземы обыкновенные. Климат района исследования резко континентальный, с продолжительной холодной зимой и жарким коротким летом. Вегетационный период длится около 164 дня. Среднегодовое количество осадков по многолетним наблюдениям составляет 322 мм, колеблясь в пределах 180-600 мм. Температура воздуха самого теплого месяца (июль) равна +22,9°C, самого холодного (января) – 23,7°C.

Объектами исследования служили 13 интродуцированных видов и сортов рода *Spiraea*. Возраст кустарников в коллекциях составляет от 10 до 30 лет, в школах – 5-6 и 1-2 летние черенкованные саженцы. Кусты *Spiraea* размещены в биогруппах и рядах, с расстоянием в 2 м между рядами и 1 м между растениями. Подбор видов, форм и сортов рода *Spiraea* для изучения диктовался их биологическими особенностями и способностью адаптироваться к суровым условиям резко-континентального климата Северного Казахстана. При мобилизации исходного материала декоративных кустарников в район исследования использовался комплекс традиционных методов интродукции растений, включая метод климатических аналогов Майера, родовых комплексов Русанова и ступенчатой интродукции [9, 10].

В наших исследованиях из большого числа морфологических признаков декоративных кустарников в коллекционных насаждениях дендропарка и арборетума, и новых видов в школе рассматривались: высота, диаметр стволика, диаметр куста и темпы прироста побегов. Для измерений использовались обычная мерная линейка и рулетка. Высоту растений определяли от корневой шейки до самой высокой точки роста вертикального побега. Диаметр стволика измерялся у корневой шейки штангенциркулем. Диаметр кроны определялся как расстояние между крайними точками ее проекции на землю в двух на-

правлениях: север-юг и запад-восток. Прирост текущего года оценивался по зеленой, неодревесневшей части основных побегов [11, с. 372]. Основываясь на темпах роста, растения были разделены на следующие категории: очень быстрорастущие (прирост побегов до 2 м в год), быстрорастущие (0,6-1 м), умеренного роста (0,3-0,6 м), медленнорастущие (0,25-0,3 м) и очень медленнорастущие (до 0,2 м) [12, с. 21]. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы MS Excel 2021.

Результаты исследования и их обсуждение. *Spiraea* обладают высокой декоративностью на протяжении всего сезона. Весеннее и летнее цветение, отличающееся обилием и разнообразием оттенков, придает ландшафту яркость и насыщенность. В разные годы в коллекции дендропарка и арборетума были привлечены 7 видов и сортов рода *Spiraea* – *S. japonica* «*Macrophylla*», *S. japonica* «*Goldflame*», *S. japonica* «*Magic Carpet*», *S. xvanhouttei* (Briot) Zabel, *S. cinerea* «*Grefsheim*», *S. xcinerea* Zabel, *S. «Golden Carpet»*.

На рисунке 1 запечатлены некоторые представители рода *Spiraea* в разные сроки вегетационного периода, растущие в коллекциях (все фотографии, представленные в статье, сделаны авторами Чеботько Н.К. и Крековой Я.А.).



S. xcinerea Zabel. *S. «Macrophylla»* *S. japonica* «*Goldflame*»

Рисунок 1 – *Spiraea* в коллекциях дендропарка и арборетума

В 2024 году, в рамках новой исследовательской тематики на период 2024-2026 годы «Выявление потенциала адаптивности новых декоративных кустарников и их способности к вегетативному размножению в условиях Северного Казахстана» были приобретены новые виды и сорта декоративных кустарников. Среди них особое место заняли 7 представителей рода *Spiraea*: *S. japonica* «*Anthony Waterer*», *S. x arguta* Zabel, *S. «Bitulina»*, *S. japonica* «*Dart's Red*», *S. japonica* «*Firelight*», *S. japonica* «*Little Princess*», *S. betulifolia* «*Tor Gold*». На рисунке 2 представлены некоторые из новых сортов *Spiraea*, у двух из них зафиксировано первое цветение (*S. japonica* «*Dart's Red*», *S. japonica* «*Firelight*»). В период наблюдений отмечено хорошее состояние всех видов и сортов *Spiraea* в коллекциях и в школах новых видов и сортов.

В исследованиях, проведенных Г.А. Павленковой [13, с. 81] на базе генетической коллекции дендрария ВНИИСПК, *Spiraea* «*Anthony Waterer*», наряду с другими видами и сортами, была выделена как устойчивая к неблагоприятным факторам окружающей среды, болезням и вредителям. В более поздних работах [14, с. 62] сорт «*Anthony Waterer*» получил высокую оценку как высокодекоративный сорт, благодаря обильной облиственности и пышному цветению. Высокие декоративные свойства и высокая зимостойкость *S. «Anthony Waterer»* были также отмечены в условиях города Саратова в исследованиях А.В. Терешкина и О.В. Азаровой [15, с. 38].

В коллекции дендрологического отдела Пензенского Ботсада им. И.И. Спрыгина *Spiraea* «*Dart's Red*» являет собой пример завидной устойчивости, исправно проходя все фазы развития: вегетацию, цветение и плодоношение. Ее малиново-красные цветки, хоть и невелики, собраны в пышные, приковывающие взгляд соцветия размером 12-15 см. В указанных условиях *Spiraea* «*Dart's Red*» характеризуется как среднерослый кустарник, высотой 0,8-1,0 м, шириной кроны 0,8 м, полушаровидной, компактной и густой формы [16, с. 30].

В течение зимнего периода 2024-2025 гг. все сорта спиреи, культивируемые в коллекции и в школе питомника, благополучно перенесли холода и заслужили высокие оценки за свою декоративность [17, с. 127]. Новые сорта *Spiraea* «*Dart's Red*» и «*Anthony Waterer*» в текущем году впервые вступили в фазу цветения, массовое цветение которых отмечалось с 30 июля и продолжалось до середины сентября 2025 года. Наиболее продолжительное цветение отмечено у *Spiraea japonica* «*Bitulina*» (около 70 дней) – появление бутонов наблюдалось с 17 июня и окончание цветения 07 сентября.



S. «Dart's Red» S. «Arguta» S. japonica «Firelight» S. «Little Princess»

Рисунок 2 – Новые сорта *Spiraea* в школке

Биологические особенности *Spiraea betulifolia* и перспективы ее использования в озеленении освещены в работе В. Костиковой и др. [18, с. 44]. Т.Г. Махрова и А.Ю. Сапелин [19, с. 154] отнесли *Spiraea betulifolia* к группе растений, чей «пик декоративности» приходится на весну или первую половину лета. Наши наблюдения в условиях Северного Казахстана подтверждают эти выводы: пик декоративности данного вида наступил примерно в те же сроки – появление бутонов 14 мая и окончание цветения 6 июня. Фенологические исследования *Spiraea betulifolia* в европейской части северо-востока (Республика Коми) зафиксировали стабильные даты начала ($21-22$ июня ± 11 дней) и продолжительности цветения (21 ± 5 дней) [20, с. 118].

С целью оценки морфологических характеристик декоративных кустарников в коллекционных посадках дендропарка и арборетума, а также новых видов в школке проведены замеры высоты, диаметра ствола, ширины кроны в двух направлениях (север-юг и запад-восток) и текущего прироста, результаты которых представлены на рисунках 3, 4. Точное определение размеров растений имеет решающее значение для научных исследований, лесоводства, озеленения и ландшафтного дизайна. Оценка биометрических показателей декоративных кустарников играет важную роль при принятии решения о целесообразности их выращивания в условиях Северного Казахстана.

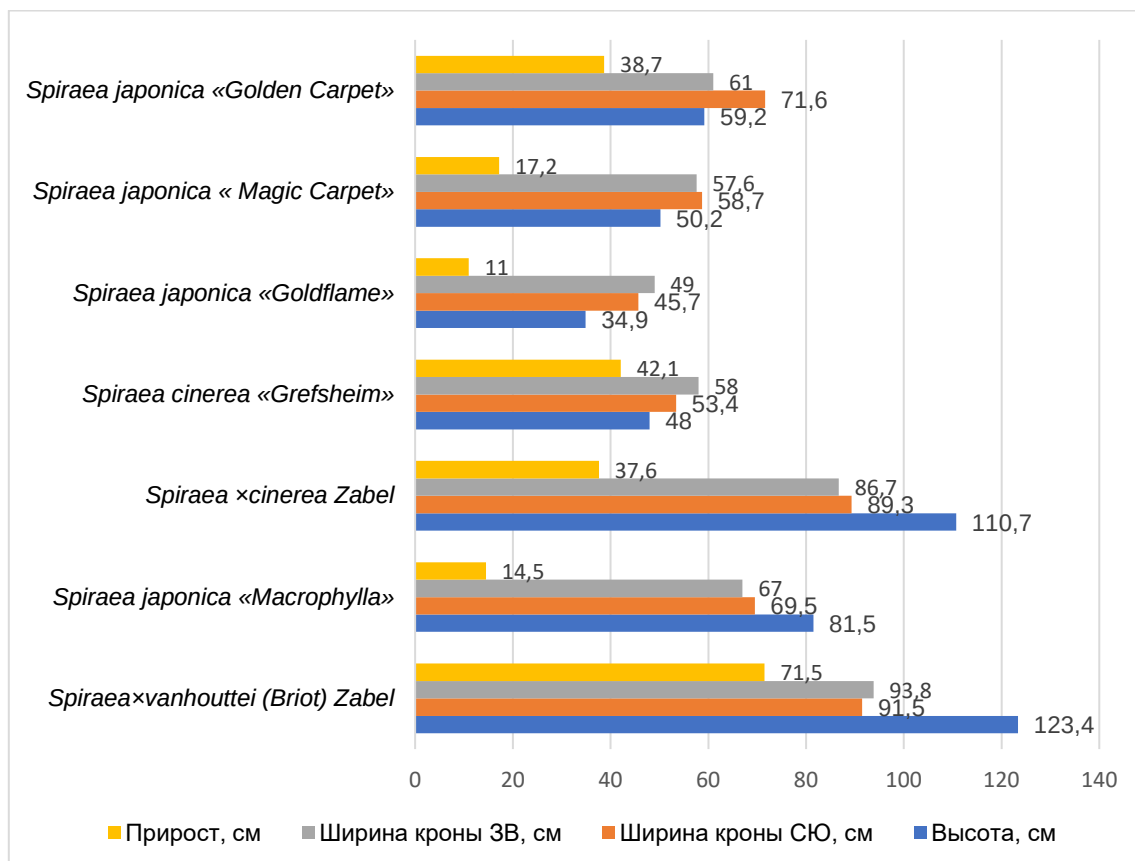


Рисунок 3 – Показатели роста и развития *Spiraea* в коллекциях в 2025 году

Анализ данных, представленных на рисунке 3, выявил заметные различия в высоте и приросте однолетних кустарников *Spiraea* в коллекциях. Высоких кустарников среди изученных видов не наблюдается. В группу кустарников средней высоты (1,0-2,0 м) вошли *Spiraea*×*vanhouttei* (Briot) Zabel и *Spiraea* ×*cinerea* Zabel. Все остальные *Spiraea* отмечены низким ростом (0,5-1,0 м).

По темпам роста (текущему приросту) *Spiraea* разделились на 3 группы. Быстрорастущие: *Spiraea*×*vanhouttei* (Briot) Zabel, с годовым приростом 71,5 см; умеренного роста: *S. cinerea* Zabel, *S. cinerea* «Grefsheim» и *S. «Golden Carpet»*, годовой прирост у которых составил 37,6-42,1 см. В группу очень медленно растущих вошли 3 сорта: *S. japonica* «Goldflame», *S. japonica* «Macrophylla», *S. japonica* «Magic Carpet», с годовым приростом от 11,0 до 17,2 см.

Следует отметить, что *S. cinerea* «Grefsheim» и *S. japonica* «Goldflame» в наших коллекциях оказались значительно ниже (в 2-2,5 раза) эталонных значений по высоте, зафиксированных в справочных изданиях [21, с. 84, 22]. В то же время годовой прирост *S. cinerea* «Grefsheim», напротив, в 2,5 раза превысил справочные данные, а *S. japonica* «Goldflame» немного отстала от нормы (в 1,8 раза).

Кроны кустарников *Spiraea* отличаются компактностью и плотностью, гармонично развиваясь в обоих направлениях. Самой широкой кроной характеризуются 2 вида: *Spiraea*×*vanhouttei* (Briot) Zabel и *S. cinerea* Zabel, на 19-25 см она поменьше у *S. «Golden Carpet»* и *S. japonica* «Macrophylla». Самая узкая крона отмечена у *S. cinerea* «Grefsheim», *S. japonica* «Magic Carpet» и *S. japonica* «Goldflame».

Проанализировав данные наших исследований с полученными данными в Ботаническом саду-институте Уфимского научного центра РАН установлено, что высота *Spiraea*×*vanhouttei* (Briot) Zabel незначительно выше, а *S. cinerea* «Grefsheim» немного ниже наших данных. Ширина кроны у обоих сортов *Spiraea* выше в условиях Башкирского Предуралья, чем в условиях Северного Казахстана [25, с. 765].

Среди новых видов и сортов спиреи, представленных на рисунке 4, *S. betulifolia* «Tor Gold» выделяется своим стремительным ростом и высоким годовым приростом.

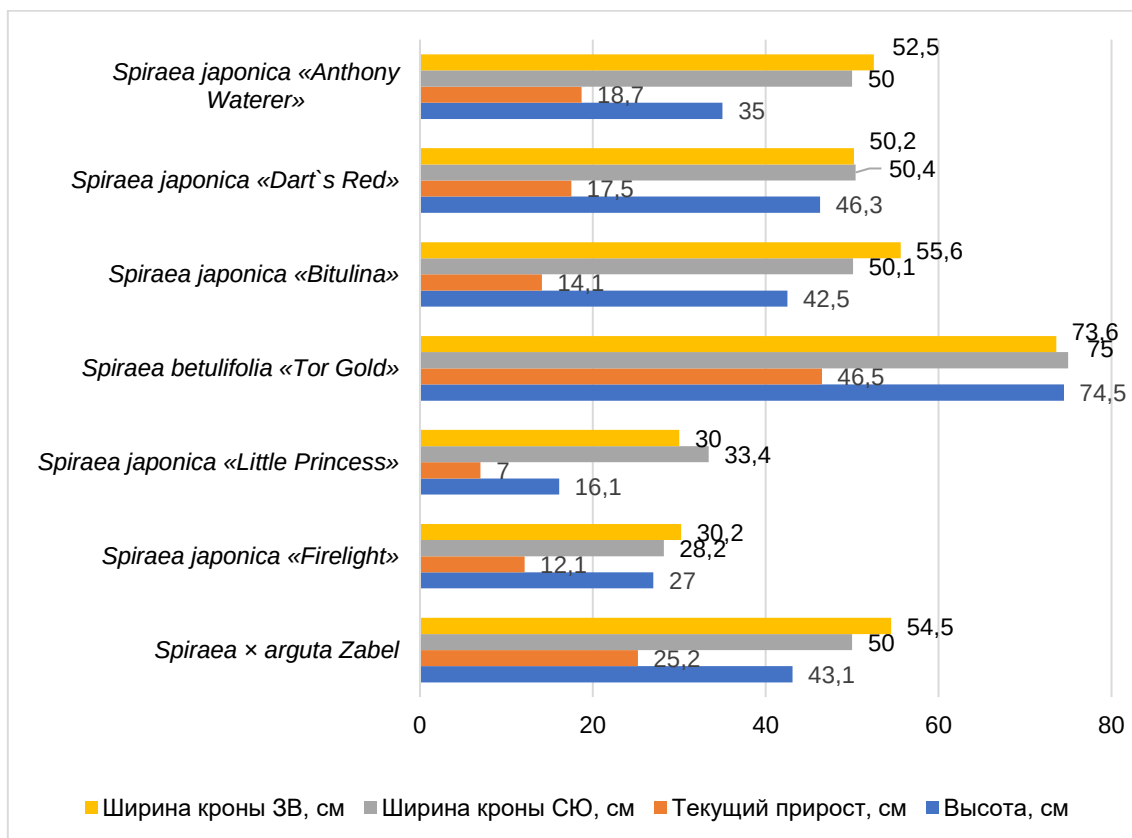


Рисунок 4 – Показатели роста и развития новых видов (сортов) *Spiraea* в 2025 году

К среднерослым кустарникам, судя по их биометрическим показателям можно отнести сорта «Anthony Waterer», «Bitulina», «Arguta», «Darts Red». Самыми же миниатюрными представителями рода *Spiraea* предстают сорта «Little Princess» и *S. «Firelight»*.

Анализ высоты и динамики прироста изученных видов и сортов декоративных кустарников позволяет сделать вывод о значительной внутривидовой и межвидовой изменчивости по данным показателям. Высота кустарников, как правило, коррелирует с текущим приростом, что отражает интенсивность ростовых процессов. Для высоты видов и сортов *Spiraea* коэффициент вариации (C_v) колеблется от низкого (11,45) до среднего (16,90), что свидетельствует о незначительной изменчивости в пределах каждой группы растений. Повышенные (28,43) и высокие (49,74) показатели C_v характерны

для годового прироста. В то же время, диаметр стволика у корневой шейки отличается широким размахом C_v – от среднего (21,07) до высокого (41,43). Коэффициент вариации диаметра кроны колеблется от низкого (11,88) до повышенного (34,0). Низкий показатель C_v свидетельствует о стабильности этого признака. Высокий коэффициент вариации указывает на значительную изменчивость параметра, что может быть обусловлено генетическими особенностями вида (сорта), а также условиями произрастания. Возможно, вариативность этих показателей в условиях Северного Казахстана обусловлена генетическими особенностями, условиями произрастания и агротехническими мероприятиями.

Заключение. В целом, представленные виды и сорта *Spiraea* в коллекциях демонстрируют широкий спектр возможностей использования этих кустарников в озеленении. Разнообразие видов и сортов позволяет создавать композиции, отличающиеся формой, размером, текстурой и окраской листвы и соцветий, обеспечивая декоративность на протяжении всего сезона.

Правильный подбор сортов с учетом их биометрических характеристик и декоративных особенностей является залогом создания устойчивых и эстетически привлекательных насаждений. При создании ландшафтных композиций необходимо учитывать размеры куста и его форму, которые будут определять различные типы насаждений. Так в одиночных посадках или живых изгородях можно использовать высокорослые виды растений: *Spiraea x vanhouttei* (Briot) Zabel, *Spiraea x cinerea* Zabel и *S. betulifolia* «Tor Gold». Некоторые высокие и не очень высокие растения («Anthony Waterer», «Bitulina», «Arguta», «Darts Red») можно высаживать вокруг одиночных деревьев или небольших групп деревьев.

Для низких бордюров хороши такие виды, как *S. japonica* «Goldflame», *S. «Little Princess»* и *S. «Firelight»*. Низкие виды также можно высаживать на горке, создавать из них рокарии или альпинарии.

При грамотном подходе к разным видам и сортам *Spiraea* можно создавать композиции непрерывного цветения, в которых в весенний период начинается цветение *Spiraea* с белыми цветками, затем цветут *Spiraea* с розовыми и малиновыми цветками.

Полученные данные – ценный инструмент при проектировании ландшафтных композиций, подборе ассортимента для озеленения, а также для целей селекции, направленной на создание новых, перспективных сортов декоративных кустарников. Знание закономерностей роста и развития кустарников позволяет прогнозировать их габитус и размеры в зрелом возрасте, что крайне важно для достижения желаемого декоративного эффекта. Учет этих показателей также важен при планировании посадок и определении оптимальной дистанции между растениями.

Таким образом, сочетание таксационных показателей и декоративных качеств *Spiraea*, открывает широкие возможности для создания разнообразных ландшафтных композиций, учитывая особенности климатических условий и поставленные задачи озеленения.

Информация о финансировании: Данное исследование финансируется Министерством экологии и природных ресурсов Республики Казахстан (№ BR23590517).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бабич Н.А., Карбасникова Е.Б., Андропова М.М., Залывская О.С., Александрова Ю.В. **Основные подходы развития ступенчатой интродукции в северные широты** [Текст] / Н.А. Бабич, Е.Б. Карбасникова, М.М. Андропова, О.С. Залывская, Ю.В. Александрова // Труды по интродукции и акклиматизации растений. Вып. 1. – Ижевск: ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН». – 2021. – С. 17-19.
2. Чернолих В.В. **Анализ изменчивости представителей рода спирея (*Spiraea* L.) в связи с разработкой методики оценки декоративных качеств** [Текст]: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / В.В. Чернолих. – Москва, 2016. – 23 с.
3. Плотникова Л.С. **Спирея в природе и культуре** [Текст] / Л.С. Плотникова // Лесохозяйственная информация – лесные культуры, № 4. ВНИИЛП – 80 лет. – 2014. – С. 54-58.
4. Абрамчук А.В., Карташева Г.Г., Карпухин М.Ю. **Садово-парковое и ландшафтное искусство**. [Текст] / А.В. Абрамчук, Г.Г. Карташева, М.Ю. Карпухин. – Екатеринбург, 2013. – 612 с.
5. Саввина Т.Д., Асташина С.И., Гомзякова Е.О. **Изучение биологических и морфологических особенностей декоративных кустарников** [Текст] / Т.Д. Саввина, С.И. Асташина, Е.О. Гомзякова // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи: Сб. статей по мат. X Всерос. (нац.) научно-практич. конф. молодых ученых, посвященной 75-летию Курганской ГСХА имени Т.С. Мальцева, Курган, 29 ноября 2018 года / Под общей редакцией Сухановой С.Ф. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. – 2018. – С. 405-409.
6. Крапивко Е.Н. **Морфобиологические особенности видов и сортов *Spiraea* L. при интродукции в условиях лесостепи Алтайского края**: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Е.Н. Крапивко. – Барнаул, 2012. – 26 с.
7. Смирнова З.И. **Перспективы использования многочисленных видов и сортов спирей в городском озеленении** [Текст] / З.И. Смирнова // Вестник Университета Правительства Москвы. – 2018. – № 1(39). – С. 57-61.
8. Верзунов А.И. Маловик С.В. **Дендропарк Научно-производственного центра лесного хозяйства**. [Текст] / А.И. Верзунов, С.В. Маловик – Алматы: ТОО «Издательство «Бастау». – 2005. – 48 с.

9. Андропова М.М., Бабич Н.А., Хамитов Р.С. Ступенчатая интродукция древесных растений на севере Русской равнины / М.М. Андропова, Н.А. Бабич, Р.С. Хамитов – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2021. – 412 с.
10. Мингажева А.М., Чурагулова З.С. Интродукция древесных и кустарниковых пород / А.М. Мингажева, З.С. Чурагулова: Учебное пособие для вузов – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 272 с.
11. Бурганская Т.М., Макознак Н.А., Зельвович И.К. Итоги интродукции красивоцветущих кустарников в экспозиции партерной части Ботанического сада Белорусского государственного технологического университета [Текст] / Т.М. Бурганская, Н.А. Макознак, И.К. Зельвович // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры. Мат. междунар. конф., посвящ. 80-летию ЦБС НАН Беларуси (19-22 июня 2012 г., Минск, Беларусь). 1 ч. – Минск, 2012. – С. 372-376.
12. Немова Е.М. Дизайн садового участка / Е.М. Немова // Фитон+. М. – 2000. – 53 с.
13. Павленкова Г.А. Оценка видов рода Спирея (*Spiraea* L.) генофонда дендрария ВНИИСПК [Текст] / Г.А. Павленкова // Современное садоводство. № 4. – Орел, 2015. – С. 77-85.
14. Павленкова Г.А., Емельянова О.Ю. Оценка перспективности красивоцветущих кустарников рода *Spiraea* L. генофонда дендрария ВНИИСПК по декоративным качествам [Текст] / Г.А. Павленкова, О.Ю. Емельянова // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2019. – Т. 6 – № 2. – С. 59-63.
15. Терешкин А.В., Азарова О.В. Влияния экологических факторов на устойчивость и декоративность спирей [Текст] / А.В. Терешкин, О.В. Азарова // Агрофорсайт, № 5. – 2020. – С. 35-39.
16. Рытикова О.В., Ростовцева М.В., Мазей Н.Г., Фатюнина (Вяль) Ю.А. Интродукция древесно-кустарниковых растений семейства *Rosaceae* Juss. в дендрарии Пензенского ботанического сада имени И.И. Спрыгина [Текст] / О.В. Рытикова, М.В. Ростовцева, Н.Г. Мазей, Ю.А. Фатюнина (Вяль) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. – 2016. – № 1 (13). – С. 23–34.
17. Крекова Я.А., Залесов С.В., Чеботько Н.К. Комплексная оценка декоративности спирей (*Spiraea* L.) в северной части Казахстана [Текст] / Я.А. Крекова, С.В. Залесов, Н.К. Чеботько // Природообустройство. – 2025. – № 4. – С. 125-132. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-125-132>.
18. Костикова В., Ступникова Т., Воробьева А. Спиреи на Амуре [Текст] / В. Костикова, Т. Ступникова, А. Воробьева // Селекция и коллекции. – 2023. – С. 43-45.
19. Махрова Т.Г., Сапелин А.Ю. Методы оценки декоративности красивоцветущих кустарников в зеленых насаждениях ВДНХ [Текст] / Т.Г. Махрова, А.Ю. Сапелин // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов: материалы X международного форума, Благовещенск – Хэйхэ, том 2, часть 2. – Благовещенск – Хэйхэ: Дальневосточный ГАУ. – 2019. – С. 152-155.
20. Смирнова А.Н., Зайнуллина К.С. Особенности вегетации, цветения и плодоношения видов рода *Spiraea* L. при культивировании на европейском северо-востоке (Республика Коми) [Текст] / А.Н. Смирнова, К.С. Зайнуллина // Самарский научный вестник. – 2018. Том 7, – № 2 (23). – С. 115-120.
21. Александрова М.Н. Прекрасная и изящная [Текст] / М.Н. Александрова // Ландшафтный дизайн. – 2009. – № 4, – С. 83-86.
22. Энциклопедия декоративных садовых растений [Электронный ресурс]. – М. – 2005. – Режим доступа: <http://flower.onego.ru> (дата доступа: 03.11.2025).
23. Полякова Н.В., Мурзабулатова Ф.К. Декоративные кустарники в ландшафтных композициях [Текст] / Н.В. Полякова, Ф.К. Мурзабулатова // Hortus bot. 2017. – Т. 2. – С. 761-771. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=4128>. DOI: 10.15393/j4.art.2017.4128.

REFERENCES:

1. Babich N.A., Karbasnikova E.B., Andronova M.M., Zalyvskaya O.S., Aleksandrova Yu.V. Osnovny'e podhody' razvitiya stupenchatoj introdukcii v severny'e shirot'y' [The main approaches to the development of stepwise introduction into northern latitudes]. *Trudy' po introdukcii i akklimatizacii rastenij. Udmurtskij federal'nyj issledovatel'skij centr Ural'skogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk*, vol. 1, iss. 1, Izhevsk, FGBUN «Udmurtskij federal'nyj issledovatel'skij centr Ural'skogo otdeleniya RAN», 2021, pp. 17-19. (In Russian)
2. Chernolih V.V. Analiz izmenchivosti predstavitelej roda spireya (*Spiraea* L.) v svyazi s razrabotkoj metodiki ocenki dekorativny'h kachestv [Analysis of the variability of representatives of the genus *Spiraea* (*Spiraea* L.) in connection with the development of a methodology for assessing decorative qualities]. Abstract of PhD thesis, Moscow, 2016, 23 p. (In Russian)
3. Plotnikova L.S. Spireya v prirode i kul'ture [*Spiraea* in nature and culture]. *Informaciya – lesny'e kul'tury*, no. 4., VNIILM 80 let, 2014, pp. 54-58. (In Russian)
4. Abramchuk A.V., Kartasheva G.G., Karpuhin M.Yu. Sadovo-parkovoe i landshaftnoe iskusstvo [Garden and park and landscape art]. Yekaterinburg, 2013, 612 p. (In Russian)
5. Savvina T.D., Astashina S.I., Gomzyakova E.O. Izuchenie biologicheskikh i morfologicheskikh osobennostej dekorativny'h kustarnikov [Study of biological and morphological characteristics of

ornamental shrubs]. *Razvitie nauchnoj, tvorcheskoj i innovacionnoj deyatel'nosti molodezhi. Sbornik statej po materialam X Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii molody'h ucheny'h, posvyashhyonnoj 75-letiyu Kurganskoj GSKHA imeni T.S. Malceva*, Kurgan, November 29 2018, Kurgan, Kurganskaya gosudarstvennaya sel'skhozaystvennaya akademiya im. T.S. Malceva, 2018. pp. 405-409. (In Russian)

6. **Krapivko E.N. Morfobiologicheskie osobennosti vidov i sortov Spiraea L. pri introdukcii v usloviyah lesostepi** [Morphobiological characteristics of species and varieties of Spiraea L. during introduction in the forest-steppe conditions of the Altai Territory]. Abstract of PhD thesis, Barnaul, 2012, 26 p. (In Russian)

7. **Smirnova Z.I. Perspektivy' ispol'zovaniya mnogochislenny'h vidov i sortov spirej v gorodskom ozelenenii** [Prospects for the use of numerous species and varieties of spirea in urban landscaping]. *Vestnik Universiteta Pravitel'stva Moskvu'*, 2018, no 1(39), pp. 57-61. (In Russian)

8. **Verzunov A.I. Malovik S.V. Dendropark Nauchno-proizvodstvennogo centra lesnogo hozyajstva** [Arboretum of the Scientific and Production Center of Forestry]. Almaty, TOO «Bastau», 2005, 48 p. (In Russian)

9. **Andronova M.M., Babich N.A., Hamitov R.S. Stupenchataya introdukciya drevesny'h rastenij na severe Russkoj ravniny'** [Stepwise introduction of woody plants in the northern Russian Plain]. *Arhangelsk: Severny'j (Arkticheskij) federal'ny'j universitet imeni M.V. Lomonosova*, 2021, 412 p. (In Russian)

10. **Mingazheva A.M., Churagulova Z.S. Introdukciya drevesny'h i kustarnikovy'h porod: Uchebnoe posobie dlya vuzov** [Introduction of tree and shrub species]. Saint Petersburg, Lan, 2023, 272 p. (In Russian)

11. **Burganskaya T.M., Makoznak N.A., Zelvovich I.K. Itogi introdukcii krasivocvetushhih kustarnikov v e'kspozicii parternoj chasti Botanicheskogo sada Belorusskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta** [Results of the introduction of flowering shrubs into the parterre exhibition of the Botanical Garden of the Belarusian State Technological University]. *Introdukciya, sohranenie i ispol'zovanie biologicheskogo raznoobraziya mirovoj flory'. Materialy' Mezhdunarodnoj Konferencii, posvyashhyonnoj 80-letiyu CBS NAN Belarusi*, June 19-22, 2012, Minsk, Belarus, 2012, ch. 1, pp. 372-376. (In Russian)

12. **Nemova E.M. Dizajn sadovogo uchastka** [Garden plot design]. Fiton+, Moscow, 2000, 53 p. (In Russian)

13. **Pavlenkova G.A. Ocenka vidov roda Spireya (Spiraea L.) genofonda dendrariya VNIISPK** [Evaluation of species of the genus Spiraea (Spiraea L.) of the gene pool of the arboretum of the All-Russian Research Institute of Plant Breeding]. *Sovremennoe sadovodstvo*, Orel, no. 4, 2015, pp. 77-85. (In Russian)

14. **Pavlenkova G.A., Emelyanova O.Yu. Ocenka perspektivnosti krasivocvetushhih kustarnikov roda Spiraea L. genofonda dendrariya VNIISPK po dekorativny'm kachestvam** [Evaluation of the potential of flowering shrubs of the genus Spiraea L. from the gene pool of the arboretum of the All-Russian Research Institute of Horticulture and Plant Breeding for decorative qualities]. *Selekciya i sortorazvedenie sadovy'h kul'tur*, 2019, vol. 6, no. 2, pp. 59-63. (In Russian)

15. **Tereshkin A.V., Azarova O.V. Vliyaniya e'kologicheskikh faktorov na ustojchivost' i dekorativnost' spirej** [The influence of environmental factors on the stability and decorativeness of spirea]. *Agroforsajt*, no. 5, 2020, pp. 35-39. (In Russian)

16. **Rytikova O.V. Introdukciya drevesno-kustarnikovy'h rastenij semejstva Rosaceae Juss. v dendrarii Penzenskogo botanicheskogo sada imeni I. I. Sprygina** [Introduction of trees and shrubs of the Rosaceae Juss. family in the arboretum of the I.I. Sprygin Penza Botanical Garden]. *Izvestiya vy'sshih uchebny'h zavedenij. Povolzhskij region. Estestvenny'e nauki*, 2016, no. 1 (13), pp. 23-34. (In Russian)

17. **Krekova Ya.A., Zalesov S.V., Chebotko N.K. Kompleksnaya ocenka dekorativnosti spirej (Spiraea L.) v severnoj chasti Kazakhstana** [Comprehensive assessment of the ornamental value of spirea (Spiraea L.) in the northern part of Kazakhstan]. *Prirodoobustrojstvo*, 2025, no. 4, pp. 125-132. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-4-125-132>. (In Russian)

18. **Kostikova V., Stupnikova T., Vorobeva A. Spirei na Amure** [Spirea on the Amur]. *Selekciya i kollekciy*, 2023, pp. 43-45. (In Russian)

19. **Mahrova T.G., Sapelin A.Yu. Metody' ocenki dekorativnosti krasivocvetushhih kustarnikov v zeleny'h nasazhdeniyah VDNH** [Methods for assessing the decorative value of flowering shrubs in the green spaces of VDNKh]. *Ohrana i racional'noe ispol'zovanie lesny'h resursov: materialy' X mezhdunarodnogo foruma*, Blagoveshchensk, Hejhe, Dalnevostoch. GAU, 2019, vol. 2, pp. 152-155. (In Russian)

20. **Smirnova A.N., Zajnullina K.S. Osobennosti vegetacii, cveteniya i plodonosheniya vidov roda Spiraea L. pri kul'tivirovanii na evropejskom severo-vostoke (Respublika Komi)** [Features of vegetation, flowering and fruiting of species of the genus Spiraea L. when cultivated in the European north-east (Komi Republic)]. *Samarskij nauchny'j vestnik*, 2018, vol. 7, no. 2 (23), pp. 115-120. (In Russian)

21. **Aleksandrova M.N. Prekrasnaya i izyashhnaya** [Beautiful and graceful]. *Landshaftny'j dizajn*, 2009, no. 4, pp. 83-86. (In Russian)

22. **E'nciklopediya dekorativny'h sadovy'h rastenij** [Encyclopedia of Ornamental Garden Plants]. Moscow, 2005, available at: flower.onego.ru. (accessed 03 November 2025). (In Russian)

23. **Polyakova N.V., Murzabulatova F.K. Dekorativny'e kustarniki v landshaftny'h kompoziciyah** [Ornamental shrubs in landscape compositions]. *Hortus bot*, 2017, vol. 2, 2017, pp. 761 – 771. Available at: <http://hb.karelia.ru/journal/atricle.php?id=4128>. DOI: 10.15393/j4.art.2017.4128. (accessed 03 November 2025). (In Russian)

Сведения об авторах:

Чеботько Надежда Константиновна* – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, «Казахский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», Республика Казахстан 021704, г. Щучинск, ул. Кирова, 58, тел.: 87759492158, e-mail: chebotkon@mail.ru.

Крекова Яна Алексеевна – PhD, заведующая отделом интродукции, «Казахский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», Республика Казахстан, 021704, г. Щучинск, ул. Кирова, 58, тел.: 87029191930, e-mail: yana24.ru@mail.ru.

Раушан Әрсен Берікұлы – магистрант 2 курса, «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87472431108, e-mail: berikuly003@mail.ru.

Чеботько Надежда Константиновна* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, «Ә.Н.Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорман-мелиорация ғылыми-зерттеу институты», Қазақстан Республикасы, 021704, Щучье қ., Киров көш, тел.: 87759492158, e-mail: chebotkon@mail.ru.

Крекова Яна Алексеевна – PhD, селекция бөлімінің меңгерушісі, «Ә.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорман мелиорация ғылыми-зерттеу институты», Қазақстан Республикасы, 021704, Щучье қ., Киров көш, тел.: 87029191930, e-mail: yana24.ru@mail.ru.

Раушан Әрсен Берікұлы – 2 курс магистранты, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті», Қазақстан Республикасы 020000, Көкшетау қ., Абай көш, 76, тел.: 87472431108, e-mail: berikuly003@mail.ru.

Chebotko Nadezhda Konstantinovna* – Candidate of Agriculture, Leading Researcher, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Republic of Kazakhstan, 021704, Shchuchinsk, 58 Kirov Str., tel.: 87759492158, e-mail: chebotkon@mail.ru.

Krekova Yana Alekseyevna – PhD, Head of the Plant introduction department, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Republic of Kazakhstan, 021704, Shchuchinsk, 58 Kirov Str., tel.: 87029191930, e-mail: yana24.ru@mail.ru.

Raushan Arsen Berikuly – 2nd year Master student, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: +77472431108, e-mail: berikuly003@mail.ru.

МРНТИ 87.21.07; 68.05.41

УДК 631.41:581.5

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621239>

ОСОБЕННОСТИ БИОАККУМУЛЯЦИИ И ТРАНСЛОКАЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА–РАСТЕНИЕ»: ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ

Шынберген Ә.С.* – докторант ОП «8D08101 – Агрономия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Нугманов А.Б. – к.с.-х.н., декан факультета сельскохозяйственных наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Жумалынов К.А. – докторант ОП «8D05101 – Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Казбекова К.А. – магистр педагогических наук по ОП «7M01503 – Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Загрязнение почв тяжёлыми металлами относится к наиболее устойчивым формам деградации агроэкосистем, поскольку металлы не подвергаются биодеструкции и накапливаются в почвенном профиле, постепенно переходя в растения и далее в трофические цепи. Цель обзора – систематизировать современные данные о биоаккумуляции и транслокации тяжёлых металлов в системе «почва–растение» и оценить роль ключевых физико-химических и биологических факторов в их подвижности. Задачи работы включают анализ источников поступления металлов в почву, рассмотрение форм нахождения и биодоступности, описание молекулярных механизмов корневого поглощения и ксилемного транспорта, а также обобщение количественных показателей биоаккумуляции и транслокации. Методология построена на обзоре научных публикаций, индексированных в базах данных Scopus, Web of Science, PubMed и eLibrary, преимущественно за 2011–2025 годы. Основные результаты показывают, что эффективность накопления и транспорта определяется типом металла, кислотностью почвы, содержанием органического вещества, окислительно-восстановительными условиями ризосферы и активностью специфических белков-переносчиков

семейств HMA, NRAMP, ZIP, ABC и YSL. Кадмий характеризуется максимальным коэффициентом биоаккумуляции, тогда как никель – наиболее высокой подвижностью в системе «корень–побег». Практическая значимость работы заключается в обобщении принципов выбора растений для фиторемедиации загрязнённых почв и обеспечения безопасности сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, биоаккумуляция, транслокация, ризосфера, гипераккумуляторы, фиторемедиация, кадмий.

«ТОПЫРАҚ-ӨСІМДІК» ЖҮЙЕСІНДЕ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ БИОАККУМУЛЯЦИЯСЫ МЕН ТРАНСЛОКАЦИЯСЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ: ФАКТОРЛАР МЕН МЕХАНИЗМДЕР

Шынберген Ә.С.* – «8D08101 – Агрономия» ББ докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Нугманов А.Б. – а.ш.ғ.к., ауыл шаруашылығы ғылымдары факультетінің деканы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы
Жумалынов К.А. – «8D05101 – Биология» ББ бағдарламасының докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Казбекова К.А. – «7M01503 Химия» ББ бағдарламасы бойынша педагогика ғылымдарының магистрі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Топырақтың ауыр металдармен ластануы агроэкожүйелердің деградациясының ең тұрақты түрлерінің бірі болып табылады, өйткені бұл элементтер биодеструкцияға ұшырамайды және топырақ профилінде жинақталып, өсімдікке, одан әрі қоректік тізбекке өтеді. Шолудың мақсаты – «топырақ-өсімдік» жүйесіндегі ауыр металдардың биоаккумуляциясы мен транслокациясы туралы заманауи деректерді жүйелеу және олардың қозғалғыштығына әсер ететін негізгі физика-химиялық және биологиялық факторлардың рөлін бағалау. Жұмыстың міндеттері металдардың топыраққа түсу көздерін талдауды, оларды кездесу формалары мен биожетімділігін қарастыруды, түбірлік сіңірудің және ксилемалық тасымалдаудың молекулалық механизмдерін сипаттауды, сондай-ақ биоаккумуляция мен транслокацияның сандық көрсеткіштерін жалпылауды қамтиды. Әдістеме негізінен 2011–2025 жылдары Scopus, Web of Science, PubMed және eLibrary дерекқорларында индекстелген ғылыми басылымдарға шолу жасауға негізделген. Негізгі нәтижелер жинақталудың және тасымалдаудың тиімділігі металдың түріне, топырақтың қышқылдығына, органикалық заттың құрамына, ризосфераның тотығу-тотықсыздану жағдайларына және HMA, NRAMP, ZIP, ABC, YSL тұқымдастарының тасымалдаушы ақуыздарының белсенділігіне байланысты екенін көрсетеді. Кадмий ең жоғары биоаккумуляция коэффициентімен сипатталса, никель түбір-өркен жүйесінде ең жоғары қозғалғыштыққа ие. Жұмыстың тәжірибелік маңыздылығы фиторемедиация үшін өсімдіктерді таңдау қағидаларын және ауыл шаруашылығы өнімінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету бойынша ұсыныстарды жалпылауда жатыр.

Түйінді сөздер: ауыр металдар, биоаккумуляция, транслокация, ризосфера, гипераккумуляторлар, фиторемедиация, кадмий.

FEATURES OF BIOACCUMULATION AND TRANSLOCATION OF HEAVY METALS IN THE SOIL-PLANT SYSTEM: FACTORS AND MECHANISMS

Shynbergen A.S.* – PhD student, “8D08101 – Agronomy” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Nugmanov A.B. – Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of agricultural sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Zhumalynov K.A. – PhD student, “8D05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kazbekova K.A. – Master of Pedagogical Sciences, “7M01503 Chemistry” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Soil contamination by heavy metals represents one of the most persistent forms of agroecosystem degradation, since metals are not biodegradable and gradually accumulate in the soil profile, subsequently entering plants and the food chain. The aim of this review is to systematise recent findings on bioaccumulation and translocation of heavy metals in the soil-plant system and to assess the role of key physical-chemical and biological factors that regulate metal mobility. The objectives include analysing anthropogenic and natural inputs of metals into soils, examining their occurrence forms and bioavailability, describing the molecular mechanisms of root uptake and xylem transport, and summarising quantitative indices of bioaccumulation and translocation. The methodology was based on a critical synthesis of scientific publications indexed in Scopus, Web of Science, PubMed and eLibrary, predominantly published between 2011 and 2025. The principal results demonstrate that the efficiency of accumulation and transport depends on metal type, soil pH, organic matter

content, redox conditions of the rhizosphere, and the activity of specific transporter proteins of the HMA, NRAMP, ZIP, ABC and YSL families. Cadmium exhibits the highest bioaccumulation factor, while nickel shows the highest root-to-shoot mobility. The practical value of the review lies in generalising the principles of plant selection for phytoremediation of contaminated soils and ensuring the safety of agricultural production.

Keywords: heavy metals, bioaccumulation, translocation, rhizosphere, hyperaccumulators, phytoremediation, cadmium.

Введение. Загрязнение почв тяжёлыми металлами (ТМ) занимает одно из центральных мест в перечне глобальных экологических проблем XXI века. В отличие от органических поллютантов, ТМ не подвергаются биологическому разложению, накапливаются в верхних горизонтах почв, постепенно мигрируют в системе «почва–растение» и попадают в трофические цепи, представляя серьёзную угрозу для здоровья человека и устойчивости агроэкосистем [1, с. 4; 2, с. 7]. Согласно современным оценкам, более 10 миллионов площадок по всему миру официально классифицированы как загрязнённые тяжёлыми металлами, а суммарная площадь таких территорий превышает 80 тыс. км² [3, с. 2].

Антропогенные источники поступления ТМ в почву многочисленны и включают атмосферное осаждение продуктов горнодобывающей и металлургической промышленности, сжигание угля и углеводородов, орошение сточными водами, внесение минеральных удобрений и пестицидов, применение животноводческих отходов и осадков сточных вод [4, с. 2; 5, с. 9; 6, с. 2]. В Казахстане проблема носит особенно острый характер в районах расположения металлургических предприятий, в том числе в Северном, Восточном и Южном регионах, где зафиксированы существенные превышения предельно допустимых концентраций приоритетных поллютантов – цинка, свинца, меди и кадмия [7, с. 93; 8, с. 77].

Степень изученности темы достаточно высокая: за последние два десятилетия выполнен значительный объём работ, посвящённых отдельным аспектам поведения ТМ в почве, биодоступности, генетике транспорта металлов в растениях, а также применению различных гипераккумуляторов в технологиях фиторемедиации [9, с. 169; 10, с. 1; 11, с. 4]. Вместе с тем стремительное накопление данных молекулярно-биологического и экологического характера, особенно после 2020 года, делает целесообразным новый обобщающий анализ. Обзорные публикации последних лет [1, с. 2; 4, с. 2; 12, с. 1] свидетельствуют о смене акцента: от описательных оценок концентраций ТМ к количественной интегральной оценке коэффициентов биоаккумуляции (BCF) и транслокации (TF).

Цель работы – обобщить и критически проанализировать современные представления о биоаккумуляции и транслокации тяжёлых металлов в системе «почва–растение», уделяя особое внимание физико-химическим, физиологическим и молекулярно-генетическим механизмам, определяющим эффективность перемещения металлов из почвы в надземные органы растений.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

- 1) систематизировать данные об источниках и формах нахождения ТМ в почвах;
- 2) рассмотреть факторы биодоступности ТМ в ризосфере;
- 3) описать механизмы корневого поглощения и ксилемно-флоэмной транслокации;
- 4) охарактеризовать стратегии гипераккумуляторов;
- 5) обобщить количественные показатели биоаккумуляции и транслокации;
- 6) оценить практическое значение полученных результатов для фиторемедиации и пищевой безопасности.

Научная новизна работы заключается в интегральном анализе данных молекулярно-генетических исследований последних лет в сочетании с количественными показателями биоаккумуляции и транслокации, полученными в недавних метаанализах и региональных эмпирических исследованиях. Практическая значимость состоит в систематизации знаний, необходимых для разработки агроэкологических рекомендаций, нацеленных на минимизацию накопления токсичных металлов в продовольственных культурах, а также для обоснования стратегий фиторемедиации территорий, подвергшихся техногенному воздействию.

Материалы и методы исследования. Работа выполнена в виде описательно-аналитического обзора с элементами систематизированного литературного анализа. Поиск источников проводился в международных базах данных Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar, а также в национальных и региональных платформах eLibrary, КиберЛенинка и научных журналах Казахстана с открытым доступом. Использовались поисковые запросы на русском и английском языках, включая комбинации ключевых слов «тяжёлые металлы», «биоаккумуляция», «транслокация», «гиперакумуляторы», «фиторемедиация», «почва–растение», «heavy metals», «bioaccumulation», «translocation», «hyperaccumulator», «soil–plant system», «phytoremediation», «cadmium uptake», «metal transporters».

В обзор включались публикации, удовлетворяющие следующим критериям: принадлежность к рецензируемым научным журналам или специализированным монографиям; индексация в базах Scopus и/или Web of Science (для зарубежных источников); тематическая сосредоточенность на механизмах поглощения, транспорта и накопления ТМ растениями; предпочтительно – публикации, вышедшие в период с 2011 по 2025 год, при этом для базовых концептуальных работ допускались более ранние издания. Особое внимание уделялось обзорным статьям и метаанализам, поскольку именно они отражают консолидированное состояние знаний в данной предметной области.

Анализ собранного материала проводился по тематическим блокам: а) источники и формы ТМ в почве; б) факторы биодоступности; в) механизмы поглощения и переноса; г) экологические стратегии растений; д) количественные индикаторы (коэффициенты биоаккумуляции и транслокации); е) практические приложения. Качественный синтез данных дополнен сопоставлением количественных показателей по приоритетным элементам: кадмию (Cd), свинцу (Pb), цинку (Zn), никелю (Ni), меди (Cu), хрому (Cr) и мышьяку (As). Всего в окончательный анализ включено 19 ключевых источников, из которых более 70 % опубликованы в последние пять лет, что соответствует современному состоянию проблемы.

Результаты. Источники тяжёлых металлов в почве традиционно подразделяются на природные (геогенные) и антропогенные. К природным относятся выветривание материнских пород, вулканическая деятельность и атмосферные процессы переноса минеральной пыли. Антропогенные источники существенно превосходят природные по интенсивности и включают добычу полезных ископаемых, металлургию, сжигание ископаемого топлива, транспорт, агрохимическую обработку (применение фосфорных удобрений, пестицидов, осадков сточных вод, навоза), а также бытовые и промышленные отходы. Именно антропогенный вклад определяет основную часть избыточного содержания приоритетных металлов (Cd, Pb, Zn, Cu, As) в почвах сельскохозяйственного назначения [4, с. 2; 6, с. 2].

В почве металлы могут находиться в нескольких химических формах: водорастворимой, обменной, связанной с органическим веществом, оксидами Fe и Mn, карбонатами и остаточной (литогенной) фракции. Биологически наиболее значимы первые две формы, поскольку именно они определяют непосредственную доступность для корневой системы. Соотношение между подвижными и связанными формами зависит от типа почвы, её гранулометрического состава, содержания органического вещества, реакции среды и окислительно-восстановительных условий [13, с. 45]. По данным казахстанских исследований, в техногенно нарушенных почвах ТМ концентрируются преимущественно в поверхностном слое, причём в районах металлургических предприятий регистрируется превышение ПДК как по валовым, так и по подвижным формам [7, с. 93; 8, с. 77].

Биодоступность ТМ определяет фактическое поступление элементов в растение и контролируется комплексом почвенных и биологических факторов. Кислотность почвенного раствора является одним из решающих параметров: снижение pH ведёт к десорбции металлов с поверхности минералов и органических коллоидов, увеличению их подвижности и усиленному поглощению корнями. Глобальный метаанализ, выполненный на основе 547 пар наблюдений из 82 исследований, показал, что коэффициент биоаккумуляции (BF) кадмия и цинка экспоненциально снижается с ростом pH, тогда как для свинца наблюдается обратная зависимость – подвижность увеличивается в щелочных условиях из-за специфики химического поведения иона Pb^{2+} [3, с. 4–5; 5, с. 9].

Содержание органического вещества также является важным фактором: гумусовые кислоты способны прочно связывать металлы в стабильные хелатные комплексы, уменьшая их подвижность; вместе с тем некоторые низкомолекулярные органические лиганды, напротив, повышают растворимость металлов. Важное значение имеют окислительно-восстановительные условия: на затопленных почвах создаются восстановительные условия, при которых поведение мышьяка кардинально меняется – он переходит в более подвижную форму As(III) и усиленно накапливается рисом и другими гидрофитами [4, с. 4].

Существенную роль играют ризосферные процессы. Растения активно изменяют химию ризосферы за счёт выделения протонов (H^+), органических кислот (лимонной, яблочной, малоновой), низкомолекулярных пептидов и фенольных соединений. Эти выделения могут как мобилизовать металлы (повышая их доступность), так и иммобилизовать их (формируя нерастворимые комплексы), что является важным звеном защитной стратегии корней [14, с. 5]. Микроорганизмы ризосферы – ризобактерии, способствующие росту растений (PGPR), и арбускулярно-микоризные грибы – способны существенно изменять биодоступность металлов посредством секреции хелаторов, изменения pH и активизации специфических механизмов резистентности [1, с. 6; 15, с. 2-3].

Концентрация металла в почве также определяет эффективность накопления. Установлены пороговые значения общего содержания ТМ, при превышении которых коэффициент биоаккумуляции опускается ниже 1,0: для кадмия – 214,8 мг/кг, для меди – 669,5 мг/кг, для свинца – 31 352,3 мг/кг, для мышьяка – 8 291,1 мг/кг, для цинка – 18 657,3 мг/кг. Снижение BF выше указанных порогов связано с проявлением фитотоксических эффектов, нарушающих ростовые процессы и блокирующих механизмы поглощения. Температура и влажность выступают важными климатическими модификаторами биодоступности: для кадмия наблюдается выраженная положительная корреляция коэффициента биоаккумуляции со среднегодовой температурой ($p < 0,001$) – при значениях среднегодовой температуры менее 10 °C средний BF составляет 4,06, тогда как при среднегодовой температуре выше 20 °C достигает 8,43 [3, с. 5, 11].

Гранулометрический и минералогический состав почвы оказывает существенное влияние на удержание ТМ. Глинистые минералы (монтмориллонит, иллит, каолинит), оксиды и гидроксиды Fe и Mn, а также гумусовые вещества являются основными сорбентами, удерживающими катионы металлов и снижающими их подвижность [13, с. 112]. Содержание Cd, Pb и Zn в почвах в значительной степени определяется составом почвообразующих пород: на лёгких песчаных почвах металлы более подвижны

и доступны растениям, тогда как на тяжёлых суглинистых и торфяных почвах – значительно более прочно фиксированы [6, с. 3-4].

Поглощение ТМ корневой системой осуществляется по двум основным путям: апопластному (через клеточные стенки и межклеточные пространства) и симпластному (через цитоплазму с участием мембранных переносчиков). Апопластный транспорт ограничен поясками Каспари в эндодерме, поэтому для проникновения в проводящую систему металлы должны быть перенесены через плазматическую мембрану корневых клеток. На этом этапе ключевую роль играют специализированные транспортные белки. Поскольку для большинства токсичных ТМ (Cd, Pb, As) в растениях отсутствуют специфические переносчики, их поступление осуществляется через белки, предназначенные для поглощения эссенциальных элементов – Fe, Zn, Mn, Ca, что связано с близкими физико-химическими свойствами иона металла и его аналога. Установлено, что в поглощении кадмия задействованы по меньшей мере пять семейств транспортных белков: NRAMP, HMA, ZIP, ABC и YSL. Обобщённая характеристика этих семейств приведена в таблице 1 [10, с. 3].

Таблица 1 – Основные семейства мембранных переносчиков, участвующих в транспорте тяжёлых металлов в растениях [10, с. 3; 14, с. 7]

Семейство	Функциональная роль	Транспортируемые металлы	Примеры белков
NRAMP	Поглощение из почвы; ремобилизация металлов из вакуоли	Fe, Mn, Cd, Zn, Ni	<i>AtNRAMP1</i> , <i>AtNRAMP3–4</i> , <i>OsNramp5</i>
HMA (P1B-ATPase)	Загрузка ксилемы; вакуольная секвестрация; экспорт металлов из цитоплазмы	Zn, Cd, Pb, Cu, Co	<i>AtHMA2–4</i> , <i>AhHMA4</i> , <i>OsHMA2–3</i>
ZIP	Захват двухвалентных катионов корневыми клетками	Zn, Fe, Mn, Cd	<i>AtIRT1</i> , <i>OsZIP5–9</i> , <i>AtZIP1–12</i>
ABC	АТФ-зависимый транспорт металл-хелатных комплексов в вакуоль и из клетки	Cd, Pb, As	<i>AtABCC1–3</i> , <i>OsABCC9</i> , <i>AtPDR8</i>
YSL	Транспорт металл-никотинаминовых комплексов; межорганное распределение	Fe, Zn, Cu, Ni, Mn	<i>OsYSL2</i> , <i>AtYSL1–3</i> , <i>TcYSL3</i>
CAX	Антипорт катион/H ⁺ ; гомеостаз Ca и других катионов	Ca, Mn, Cd, Ni	<i>AtCAX1–4</i> , <i>OsCAX</i>
CDF (MTP)	Секвестрация металлов в вакуоль и аппарат Гольджи	Zn, Mn, Ni, Co, Cd	<i>AtMTP1</i> , <i>AhMTP1–3</i> , <i>OsMTP11</i>

У риса (*Oryza sativa*) поглощение Cd корнями опосредуется преимущественно белками OsNramp1, OsNramp5, OsZIP5, OsZIP6, OsZIP9, OsIRT1 и OsIRT2. Особое значение имеет OsNramp5, мутации которого приводят к резкому снижению накопления кадмия в зерне – этот факт активно используется в селекционных программах для создания низкокадмиевых сортов риса. У модельного растения *Arabidopsis thaliana* захват Cd корнями осуществляется через AtIRT1 – основной переносчик железа двухвалентного, обладающий низкой специфичностью к субстрату. После проникновения в корневую клетку часть металла сразу же изолируется в вакуоли, что предотвращает токсическое действие на цитоплазматические процессы. У *Arabidopsis* вакуольная секвестрация Cd обеспечивается белками AtHMA3, AtABCC1, AtABCC2, AtABCC3 и AtMRP7; у риса – OsHMA3 и OsABCC9. Особое значение имеет AtHMA3, гиперэкспрессия которого приводит к удержанию Cd в корнях и резкому снижению его транспорта в надземные органы [4, с. 6; 10, с. 5, 7].

Транслокация ТМ из корня в побег является вторым ключевым этапом, лимитирующим накопление металлов в съедобных и фотосинтезирующих органах. Загрузка металла в ксилему осуществляется специализированными мембранными АТФазами Р-типа. У *Arabidopsis* эту функцию выполняют AtHMA2 и AtHMA4, локализованные в плазматической мембране клеток перицикла и ксилемной паренхимы; у риса – OsHMA2. Загруженные в ксилему металлы транспортируются с восходящим током транспирационной воды в виде свободных ионов или комплексов с органическими лигандами – никотином, гистидином, цитратом, фитохелатинами. У растений-гиперакумуляторов уровень экспрессии генов HMA4 многократно повышен по сравнению с близкородственными неаккумуляторными видами: например, у *Arabidopsis halleri* – гиперакумулятора цинка и кадмия – высокая экспрессия AhHMA4 обусловлена сочетанием модифицированных регуляторных последовательностей и амплификации числа копий гена. Дополнительный вклад в транслокацию вносят белки семейства YSL, ответственные за транспорт металлорганических комплексов; транспорт металлов с никотином через сосудистую систему обеспечивает их перераспределение между органами и доставку к развивающимся тканям, в том числе к семенам. Особый интерес представляет ретранспорт металлов из вегетативных органов

во флоэму и далее в репродуктивные структуры: у риса белок OsNramp2 опосредует ретранслокацию Cd, что напрямую влияет на накопление металла в зерне [10, с. 5-8; 14, с. 7-8].

Эффективность транслокации количественно характеризуется коэффициентом транслокации (TF), рассчитываемым как отношение концентрации металла в надземных органах к концентрации в корнях. Значения $TF > 1$ указывают на эффективный транспорт и характерны для гипераккумуляторов, тогда как $TF < 1$ свидетельствует о преимущественном удержании металла в корневой системе и характерен для видов, использующих стратегию фитостабилизации [9, с. 170].

Гиперакумуляторы – группа растений, способных накапливать в надземных органах концентрации металлов, многократно превосходящие фитотоксические пороги для большинства видов. Согласно классическим определениям, граничные значения концентраций для отнесения вида к гипераккумуляторам составляют: для Cd – 100 мг/кг сухой массы, для Zn – 10 000 мг/кг, для Ni – 1000 мг/кг, для Pb – 1000 мг/кг, для Cu – 1000 мг/кг [9, с. 170].

К настоящему времени в мире описано около 450 видов гипераккумуляторов, относящихся к 34 семействам цветковых растений. Подавляющее большинство принадлежит семейству Brassicaceae (около 25 %), за которым следуют Asteraceae, Caryophyllaceae, Plumbaginaceae, Cyperaceae, Violaceae, Poaceae, Fabaceae и Euphorbiaceae. Классическими модельными гипераккумуляторами являются: *Noccaea caerulescens* (*Thlaspi caerulescens*) – аккумулятор Zn и Cd; *Arabidopsis halleri* – аккумулятор Zn и Cd; *Pteris vittata* – аккумулятор As; *Alyssum murale*, *Berkheya coddii* – аккумуляторы Ni; *Sedum alfredii*, *Sedum plumbizincicola* – аккумуляторы Cd и Zn [14, с. 2].

Таблица 2 – Основные гипераккумулирующие виды растений и их применение в фиторемедиации

Вид	Семейство	Аккумулируемые металлы	Технология фиторемедиации
<i>Noccaea caerulescens</i>	Brassicaceae	Zn, Cd	Фитоэкстракция
<i>Arabidopsis halleri</i>	Brassicaceae	Zn, Cd	Фитоэкстракция
<i>Pteris vittata</i>	Pteridaceae	As (до 22 000 мг/кг)	Фитоэкстракция
<i>Alyssum murale</i>	Brassicaceae	Ni	Фитоэкстракция, фитомайнинг
<i>Berkheya coddii</i>	Asteraceae	Ni	Фитоэкстракция
<i>Sedum plumbizincicola</i>	Crassulaceae	Cd, Zn	Фитоэкстракция
<i>Brassica juncea</i>	Brassicaceae	Cd, Se, Cu	Индукцированная фитоэкстракция, фитоволатилизация
<i>Helianthus annuus</i>	Asteraceae	Pb, Cd, Zn, U	Ризофильтрация, фитоэкстракция
<i>Salix viminalis</i> , <i>Populus spp.</i>	Salicaceae	Cd, Cu, Pb, Zn	Фитоэкстракция, фитостабилизация

Гипераккумулирующие свойства определяются комплексом адаптаций: усиленным захватом металла корнями (повышенная экспрессия ZIP- и IRT-транспортёров), эффективной загрузкой в ксилему (гиперэкспрессия HMA4), активной вакуольной секвестрацией в листьях (HMA3), интенсивным хелатированием металлов внутриклеточными лигандами и усиленной антиоксидантной защитой [14, с. 5, 8].

Фиторемедиация как технология восстановления загрязнённых почв основана на использовании гипераккумуляторов или других толерантных видов и включает несколько подходов: фитоэкстракция, фитостабилизация, ризофильтрация, фитоволатилизация и фитодеградация [11, с. 4-5; 16, с. 2; 17, с. 4].

Коэффициент биоаккумуляции (BF, bioaccumulation factor) и коэффициент транслокации (TF) являются основными количественными индикаторами эффективности перемещения металлов в системе «почва–растение». Глобальный синтез на основе 547 наблюдений показал значительные межэлементные различия: средние значения BF составили $10,0 \pm 1,3$ для Cd, $5,9 \pm 2,1$ для Mn, $5,6 \pm 1,1$ для Zn, $4,9 \pm 2,3$ для As, $3,4 \pm 0,9$ для Ni, $3,3 \pm 3,3$ для Cr, $2,2 \pm 0,3$ для Cu, $0,9 \pm 0,2$ для Pb и $0,8 \pm 0,4$ для Fe [3, с. 4].

По коэффициенту транслокации лидирует никель: средний TF гипераккумуляторов Ni составляет $19,7 \pm 10,6$, что свидетельствует о преимущественной локализации никеля в листьях и стеблях. У вида *Noccaea typhaea* TF достигает 135,5 за счёт связывания иона никеля с низкомолекулярными карбоксильными кислотами в листьях. Напротив, у кадмия, несмотря на максимальный BF, средний TF существенно ниже ($1,8 \pm 0,1$), что обусловлено активной вакуольной секвестрацией в корнях и ограниченным выходом в ксилему [3, с. 4, 9].

Региональные эмпирические данные подтверждают выявленные закономерности. В исследовании, выполненном на тепличных томатах в г. Шымкент (Республика Казахстан), ряды биоаккумуляции в порядке убывания составили: для растений $Cu > Zn > Pb > Cr > Cd$, для плодов $Cd > Cu > Zn > Pb$. Зафиксировано превышение ПДК свинца в плодах (0,6 мг/кг при ПДК 0,5), кадмия – в 8 раз, цинка – в 7 раз, меди – в 6 раз [7, с. 91, 93–94].

Аналогичные результаты получены в исследовании, выполненном в районе Музаффаргарх (Пакистан) на овощных культурах, орошаемых сточными водами. Средние концентрации металлов в овощах располагались в ряду $Ni > Mn > Cr > Pb > Cu > Fe > Zn > Cd$. Шпинат демонстрировал самые

высокие значения TF, а индекс риска для здоровья (HRI) по свинцу для детей в цветной капусте достигал 5,28 [12, с. 1].

Важно подчеркнуть, что значения коэффициентов биоаккумуляции и транслокации в условиях контролируемых лабораторных экспериментов и в полевых условиях могут существенно различаться. Для кадмия, цинка и никеля BF и TF, измеренные в горшечных опытах, как правило, выше, чем в полевых условиях, тогда как для железа наблюдается обратная закономерность – его транслокация эффективнее при свободной корневой архитектуре в естественных условиях.

Обсуждение. Анализ современной литературы позволяет выделить ряд устойчивых закономерностей в поведении ТМ в системе «почва–растение». Во-первых, эффективность биоаккумуляции и транслокации является результирующим параметром, определяемым взаимодействием четырёх групп факторов: химической природы металла, физико-химических свойств почвы, видоспецифичных особенностей растений и условий окружающей среды. Это объясняет высокую вариабельность опубликованных значений BF и TF даже для одного и того же вида растения [6, с. 3-4].

Во-вторых, наблюдается фундаментальная разница в стратегиях между обычными и гипераккумулирующими растениями. У большинства сельскохозяйственных культур основной адаптацией является ограничение поступления металлов в надземные органы и активная вакуольная секвестрация в корнях. У гипераккумуляторов же наблюдается прямо противоположная стратегия: максимизация захвата, ускоренная транслокация и эффективная детоксикация в листьях. Эти различия имеют генетическую основу и связаны с конститутивно высоким уровнем экспрессии генов транспорта металлов [9, с. 171-172; 14, с. 8].

В-третьих, особое внимание заслуживает специфика поведения отдельных металлов. Кадмий демонстрирует относительно низкий TF из-за активной вакуольной секвестрации в корнях; никель, напротив, преимущественно мигрирует в надземные органы. Свинец отличается выраженной зависимостью подвижности от pH: его доступность возрастает в кислых почвах [18, с. 2, 5]. Хром характеризуется сложной химией: токсичность Cr(VI) на порядки выше, чем Cr(III), а в растениях преобладает удержание в корневой системе [19, с. 2, 5]. Мышьяк ведёт себя как анион (арсенат, арсенит) и его подвижность определяется окислительно-восстановительными условиями [4, с. 4].

В-четвёртых, продолжительность экспозиции и условия проведения экспериментов существенно влияют на показатели биоаккумуляции и транслокации. Растения на хронически загрязнённых почвах демонстрируют более высокие значения BF и TF по сравнению с растениями на впервые загрязнённых субстратах, что отражает адаптивную эволюцию или эпигенетическую перестройку механизмов поглощения, биосинтеза хелаторов и регуляции транспортных белков. Вместе с тем исследования последних лет показывают, что лабораторные оценки коэффициентов биоаккумуляции и транслокации могут существенно завышать реальные полевые показатели – это необходимо учитывать при экстраполяции результатов горшечных экспериментов на полевые условия [3, с. 5, 10].

Практическое значение результатов обзора многогранно. С одной стороны, понимание молекулярных механизмов транспорта ТМ позволяет вести направленную селекцию сельскохозяйственных культур с пониженным накоплением кадмия и других токсичных металлов в съедобных органах: уже идентифицированы ключевые гены-мишени – подавление OsNRAMP5 у риса снижает поступление Cd в зерно более чем в десять раз, а повышение экспрессии OsHMA3 усиливает вакуольную секвестрацию Cd в корнях [4, с. 6; 10, с. 6]. С другой стороны, использование гипераккумуляторов в фиторемедиации демонстрирует потенциал для постепенной очистки загрязнённых почв [11, с. 4-5; 16, с. 2]. Для эффективного применения фитоэкстракции необходим тщательный подбор видов с учётом профиля загрязнения: *Sedum plumbizincicola* – для Cd и Zn, *Alyssum murale* – для Ni, *Pteris vittata* – для As, *Bassia indica* – для Pb-загрязнённых почв в режиме фитостабилизации [3, с. 11].

Проблема пищевой безопасности остаётся одной из наиболее актуальных. Накопление ТМ в овощных и зерновых культурах представляет прямую угрозу здоровью человека через пищевую цепь. Региональные исследования в Казахстане [7, с. 93-94; 8, с. 77] и других странах [2, с. 7; 6, с. 3-4; 12, с. 1] документируют превышения ПДК для приоритетных металлов в овощах.

Не менее перспективным направлением является использование микроорганизмов ризосферы для усиления или, наоборот, снижения биодоступности ТМ. Бактерии родов *Pseudomonas*, *Bacillus* и арбускулярно-микоризные грибы рода *Glomus* способны эффективно мобилизовать или иммобилизовать металлы в почве [1, с. 6; 15, с. 2-3]. Комбинированные технологии «растение – микроорганизм» обладают существенно более высокой эффективностью по сравнению с моноподходами и рассматриваются как ключевое направление развития фиторемедиации [11, с. 4-5; 15, с. 2-3].

Особое внимание следует уделить вопросам безопасной утилизации металлсодержащей биомассы, образующейся в процессе фитоэкстракции. Разрабатываемые подходы включают пиролиз с получением биочаров, сжигание с энергетической рекуперацией металлов («фитомайнинг»), а также использование биомассы в качестве сырья для получения биоэтанола или биогаза [11, с. 5].

Заключение. Биоаккумуляция и транслокация тяжёлых металлов в системе «почва–растение» представляют собой сложный многоступенчатый процесс, регулируемый взаимодействием физико-химических свойств почвы, физиологических особенностей растения и молекулярно-генетических механизмов транспорта металлов. Эффективность поглощения, корневого транспорта, ксилемной

загрузки и листового депонирования определяется специфическими белками-переносчиками семейств HMA, NRAMP, ZIP, ABC и YSL, экспрессия и активность которых существенно различаются между обычными и гипераккумулирующими видами растений.

Современные количественные данные подтверждают наличие принципиальных межэлементных различий в поведении ТМ: кадмий характеризуется наивысшими коэффициентами биоаккумуляции при умеренной транслокации, никель – максимальной мобильностью в надземные органы, свинец – ограниченным поглощением и зависимостью от pH, мышьяк – особым поведением в восстановительных условиях. Эти закономерности необходимо учитывать при разработке стратегий снижения накопления ТМ в продовольственных культурах и при выборе видов для фиторемедиации загрязнённых территорий.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: углублённое изучение генетической регуляции транспорта металлов в условиях полевых экспериментов; разработка комбинированных стратегий фиторемедиации с применением микробных консорциумов (PGPR, арбускулярных микоризных грибов); создание сельскохозяйственных культур с минимальным накоплением токсичных металлов в съедобных органах методами селекции и геной инженерии; систематический региональный мониторинг загрязнения почв и продукции в Казахстане и сопредельных регионах с целью обоснования мер агроэкологического регулирования и обеспечения пищевой безопасности населения.

Благодарности: Научные исследования выполнялись в рамках грантового программно-целевого финансирования исследований ученых по проекту на 2024-2026 годы по теме BR24992839 «Исследование воздействия экотоксикантов и инновационных агротехнологий на сельскохозяйственные земли и продукцию Костанайской области».

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Nnaji N.D. Bioaccumulation for heavy metal removal: a review** [Text] / N.D. Nnaji, H. Onyeaka, T. Miri, C. Ugwa // SN Applied Sciences. – 2023. – Vol. 5. – Article 125. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05351-6>.
2. **Briffa J. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans** [Text] / J. Briffa, E. Sinagra, R. Blundell // Heliyon. – 2020. – Vol. 6, № 9. – Article e04691. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.
3. **Huang W. Systematic evaluation of plant metals/metalloids accumulation efficiency: a global synthesis of bioaccumulation and translocation factors** [Text] / W. Huang, C. Zhang, B. Zhu, X. Liu, H. Xiao, S. Liu, H. Shao // Frontiers in Plant Science. – 2025. – Vol. 16. – Article 1602951. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1602951>.
4. **Wan Y. Heavy Metals in Agricultural Soils: Sources, Influencing Factors, and Remediation Strategies** [Text] / Y. Wan, J. Liu, Z. Zhuang, Q. Wang, H. Li // Toxics. – 2024. – Vol. 12, № 1. – Article 63. – DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics12010063>.
5. **Alengebawy A. Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications** [Text] / A. Alengebawy, S.T. Abdelkhalek, S.R. Qureshi, M.Q. Wang // Toxics. – 2021. – Vol. 9, № 3. – Article 42. – DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>.
6. **Zwolak A. Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: a review** [Text] / A. Zwolak, M. Sarzyńska, E. Szpyrka, K. Stawarczyk // Water, Air, & Soil Pollution. – 2019. – Vol. 230, № 7. – Article 164. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4221-y>.
7. **Курганбеков Ж. Накопление и распределение тяжёлых металлов в системе «почва–растение»** [Текст] / Ж. Курганбеков, А. Утебаев, Р. Мухамедов // Известия НАН РК. Серия химии и технологии. – 2022. – № 4. – С. 88–95. – DOI: <https://doi.org/10.32014/2518-1491.137>.
8. **Саркулова Ж.С. Содержание тяжёлых металлов в растениях, произрастающих на территории выбросов Риддерского цинкового завода** [Текст] / Ж.С. Саркулова, Ф.Е. Козыбаева // Eurasian Journal of Ecology. – 2019. – Т. 58, № 1. – С. 75–84. – DOI: <https://doi.org/10.26577/EJE.2019.v58.i1.06>.
9. **Rascio N. Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting?** [Text] / N. Rascio, F. Navari-Izzo // Plant Science. – 2011. – Vol. 180, № 2. – P. 169–181. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>.
10. **Tao J. Advances in Genes-Encoding Transporters for Cadmium Uptake, Translocation, and Accumulation in Plants** [Text] / J. Tao, L. Lu // Toxics. – 2022. – Vol. 10, № 8. – Article 411. – DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics10080411>.
11. **Yan A. Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land** [Text] / A. Yan, Y. Wang, S.N. Tan, M.L. Mohd Yusof, S. Ghosh, Z. Chen // Frontiers in Plant Science. – 2020. – Vol. 11. – Article 359. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>.
12. **Abbas M.T. Bioaccumulation and Mobility of Heavy Metals in the Soil-Plant System and Health Risk Assessment of Vegetables Irrigated by Wastewater** [Text] / M.T. Abbas, M.A. Wadaan, H. Ullah, M. Farooq, F. Fozia, I. Ahmad, M.F. Khan, A. Baabbad, Z. Ullah // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, № 21. – Article 15321. – DOI: <https://doi.org/10.3390/su152115321>.

13. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях [Текст] / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. – М.: Мир. – 1989. – 439 с.
14. Skuza L. Natural Molecular Mechanisms of Plant Hyperaccumulation and Hypertolerance towards Heavy Metals [Text] / L. Skuza, I. Szućko-Kociuba, E. Filip, I. Božek // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23, № 16. – Article 9335. – DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms23169335>.
15. Khatoon Z. Microbial Contributions to Heavy Metal Phytoremediation in Agricultural Soils: A Review [Text] / Z. Khatoon, M.C. Orozco-Mosqueda, G. Santoyo // Microorganisms. – 2024. – Vol. 12, № 10. – Article 1945. – DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12101945>.
16. Sharma J.K. Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment [Text] / J.K. Sharma, N. Kumar, N.P. Singh, A.R. Santal // Frontiers in Plant Science. – 2023. – Vol. 14. – Article 1076876. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1076876>.
17. Khan I.U. A Green Approach Used for Heavy Metals «Phytoremediation» Via Invasive Plant Species to Mitigate Environmental Pollution: A Review [Text] / I.U. Khan, S.S. Qi, F. Gul, S. Manan, J.K. Rono, M. Naz, X.N. Shi, H. Zhang, Z.C. Dai, D.L. Du // Plants. – 2023. – Vol. 12, № 4. – Article 725. – DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12040725>.
18. Manzoor M. Lead availability and phytoextraction in the rhizosphere of Pelargonium species [Text] / M. Manzoor, I. Gul, A. Manzoor, U.R. Kamboh, K. Hina, J. Kallerhoff, M. Arshad // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – Vol. 27, № 31. – P. 39753–39762. – DOI: 10.1007/s11356-020-08226-0.
19. Zulfiqar U. Chromium toxicity, speciation, and remediation strategies in soil-plant interface: A critical review [Text] / U. Zulfiqar, F.U. Haider, M. Ahmad, S. Hussain, M.F. Maqsood, M. Ishfaq, B. Shahzad, M.M. Waqas, B. Ali, M.N. Tayyab, S.A. Ahmad, I. Khan, S.M. Eldin // Frontiers in Plant Science. – 2023. – Vol. 13. – Article 1081624. – DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1081624>.

REFERENCES:

1. Nnaji N.D., Onyeaka H., Miri T., Ugwa C. Bioaccumulation for heavy metal removal: a review. *SN Applied Sciences*, 2023, vol. 5, art. 125. DOI: 10.1007/s42452-023-05351-6
2. Briffa J., Sinagra E., Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 2020, vol. 6, no. 9, art. e04691. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04691
3. Huang W., Zhang C., Zhu B., et al. Systematic evaluation of plant metals/metalloids accumulation efficiency: a global synthesis of bioaccumulation and translocation factors. *Frontiers in Plant Science*, 2025, vol. 16, art. 1602951. DOI: 10.3389/fpls.2025.1602951
4. Wan Y., Liu J., Zhuang Z., Wang Q., Li H. Heavy metals in agricultural soils: sources, influencing factors, and remediation strategies. *Toxics*, 2024, vol. 12, no. 1, art. 63. DOI: 10.3390/toxics12010063
5. Alengebawy A., Abdelkhalek S.T., Qureshi S.R., Wang M.Q. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. *Toxics*, 2021, vol. 9, no. 3, art. 42. DOI: 10.3390/toxics9030042
6. Zwolak A., Sarzynska M., Szpyrka E., Stawarczyk K. Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2019, vol. 230, no. 7, art. 164. DOI: 10.1007/s11270-019-4221-y
7. Kurganbekov Zh., Utebaev A., Mukhamedov R. Nakoplenie i raspredelenie tyazhely'h metallov v sisteme "pochva-rastenie" [Accumulation and distribution of heavy metals in the soil-plant system]. *Izvestiya NAN RK. Seriya himii i tehnologii*, 2022, no. 4, pp. 88-95. DOI: 10.32014/2518-1491.137 (In Russian)
8. Sarkulova Zh.S., Kozybaeva F.E. Soderzhanie tyazhely'h metallov v rasteniyah, proizrastayushhih na territorii vliyaniya vy'brossov Ridderskogo cinkovogo zavoda [Content of heavy metals in plants growing in the area affected by emissions of the Ridder zinc plant]. *Eurasian Journal of Ecology*, 2019, vol. 58, no. 1, pp. 75-84. DOI: <https://doi.org/10.26577/EJE.2019.v58.i1.06> (In Russian)
9. Rascio N., Navari-Izzo F. Heavy metal hyperaccumulating plants: how and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 2011, vol. 180, no. 2, pp. 169-181. DOI: 10.1016/j.plantsci.2010.08.016
10. Tao J., Lu L. Advances in genes-encoding transporters for cadmium uptake, translocation, and accumulation in plants. *Toxics*, 2022, vol. 10, no. 8, art. 411. DOI: 10.3390/toxics10080411
11. Yan A., Wang Y., Tan S.N., Mohd Yusof M.L., Ghosh S., Chen Z. Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Frontiers in Plant Science*, 2020, vol. 11, art. 359. DOI: 10.3389/fpls.2020.00359
12. Abbas M.T., Wadaan M.A., Ullah H., et al. Bioaccumulation and mobility of heavy metals in the soil-plant system and health risk assessment of vegetables irrigated by wastewater. *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 21, art. 15321. DOI: 10.3390/su152115321.
13. Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy' v pochvah i rasteniyakh [Trace elements in soils and plants]. Moscow, Mir, 1989, 439 p. (In Russian)

14. Skuza L., Szucko-Kociuba I., Filip E., Bozek I. Natural molecular mechanisms of plant hyperaccumulation and hypertolerance towards heavy metals. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, vol. 23, no. 16, art. 9335. DOI: 10.3390/ijms23169335
15. Khatoon Z., Orozco-Mosqueda M.C., Santoyo G. Microbial contributions to heavy metal phytoremediation in agricultural soils: a review. *Microorganisms*, 2024, vol. 12, no. 10, art. 1945. DOI: 10.3390/microorganisms12101945
16. Sharma J.K., Kumar N., Singh N.P., Santal A.R. Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: an approach for a sustainable environment. *Frontiers in Plant Science*, 2023, vol. 14, art. 1076876. DOI: 10.3389/fpls.2023.1076876
17. Khan I.U., Qi S.S., Gul F., et al. A green approach used for heavy metals "phytoremediation" via invasive plant species to mitigate environmental pollution: a review. *Plants*, 2023, vol. 12, no. 4, art. 725. DOI: 10.3390/plants12040725
18. Manzoor M., Gul I., Manzoor A., et al. Lead availability and phytoextraction in the rhizosphere of *Pelargonium* species. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, no. 31, pp. 39753-39762. DOI: 10.1007/s11356-020-08226-0
19. Zulfiqar U., Haider F.U., Ahmad M., et al. Chromium toxicity, speciation, and remediation strategies in soil-plant interface: a critical review. *Frontiers in Plant Science*, 2023, vol. 13, art. 1081624. DOI: 10.3389/fpls.2022.1081624

Сведения об авторах:

Шынберген Әлишер Сабырұлы* – докторант ОП «8D08101 – Агрономия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28/1, тел.: 87083020024, e-mail: Shynbergen2002@gmail.com.

Нугманов Алмабек Батыржанович – кандидат сельскохозяйственных наук, декан факультета сельскохозяйственных наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110005, г. Костанай, пр. Абая, 28, тел.: 87142558463, e-mail: almabek@list.ru.

Жумалынов Куаныш Ансаганович – докторант ОП «8D05101 – Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр., Абая 28/1, тел.: 87072032523, e-mail: zhumalynov.k@mail.ru.

Казбекова Карина Азаматовна – магистр педагогических наук по ОП «7M01503 – Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, пр., Абая 28/1, тел.: 87054662710 e-mail: karina09081999@gmail.com.

Шынберген Әлишер Сабырұлы* – «8D08101 – Агрономия» ББ докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ., 28/1, тел.: 87083020024, e-mail: Shynbergen2002@gmail.com.

Нугманов Алмабек Батыржанович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы ғылымдары факультетінің деканы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110005, Қостанай қ., Абай даңғ., 28, тел.: 87142558463, e-mail: almabek@list.ru.

Жумалынов Куаныш Ансаганович – «8D05101 – Биология» ББ бағдарламасының докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ., 28/1, тел.: 87072032523, e-mail: zhumalynov.k@mail.ru.

Казбекова Карина Азаматқызы – «7M01503 Химия» ББ бойынша педагогика ғылымдарының магистрі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ., 28/1, тел.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.

Shynbergen Alisher Sabyruly* – PhD student, "8D08101 – Agronomy" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87083020024, e-mail: Shynbergen2002@gmail.com.

Nugmanov Almabek Batyrzhanovich – Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of agricultural sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110005, Kostanay, 28 Abai Ave., tel.: 8714558463, e-mail: almabek@list.ru.

Zhumalynov Kuanysh Ansaganovich – PhD student, "8D05101 – Biology" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87072032523, e-mail: zhumalynov.k@mail.ru.

Kazbekova Karina Azamatovna – Master of Pedagogical Sciences, "7M01503 Chemistry" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.

IRSTI 03.20.00

UDC 94(476)+323.1

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621249>

MIDDLE CLASS VALUES, PSYCHOANALYSIS, RELIGION, AND THE DEBATES ON BELARUSIAN NATIONAL ESSENCE IN INTERWAR POLAND

Paharely A.* – PhD, Witold Pilecki Institute of Solidarity and Valor, Warszawa, Republic of Poland.

This article examines debates on Belarusian national character among Belarusian intellectuals and political activists in interwar Poland (1921-1939), with particular attention to the role of the Belarusian Christian Democratic movement. The study explores how discussions of national character became a tool for addressing broader questions of national identity, social modernization, and cultural transformation in a society marked by political fragmentation, confessional diversity, and the absence of a developed middle class. Drawing on periodicals, political writings, memoirs, and scholarly literature, the article analyzes the intellectual origins of these debates and situates them within wider European discussions on national character, psychology, and nation-building. Special attention is paid to the influence of secular concepts of psychology and psychoanalysis, which Belarusian Christian Democrats combined with religious and moral principles in order to formulate a program of national renewal. The article demonstrates that their vision of social change was closely connected with the adoption of West European and North American middle-class values, including civic responsibility, self-discipline, education, and active participation in public life. It is concluded that the concept of national character served as an important ideological instrument for mobilizing Belarusian society, promoting modernization, and strengthening national identity.

Keywords: national character, Belarusian Christian democracy, interwar Poland, middle class values, psychoanalysis, national identity, modernization.

СОҒЫС АРАЛЫҚ ПОЛЬШАДАҒЫ ОРТА ТАП ҚҰНДЫЛЫҚТАРЫ, ПСИХОАНАЛИЗ, ДІН ЖӘНЕ БЕЛАРУСЬ ҰЛТТЫҚ МӘНІ ТУРАЛЫ ПІКІРТАЛАСТАР

Пагарельй А.* – PhD, Витольд Пилецкий атындағы Ынтымақтастық және ерлік институты, Варшава қ., Польша Республикасы.

Мақалада 1921-1939 жылдардағы соғыс аралық Польшадағы беларусь зиялылары мен саяси қайраткерлері жүргізген беларусь ұлттық мінез-құлқы туралы пікірталастар зерттеледі. Зерттеуде Беларусь христиандық демократиясы қозғалысының қызметіне ерекше назар аударылады. Ұлттық мінез-құлық туралы түсініктердің ұлттық бірегейлікті қалыптастыру, қоғамдық жаңғырту және мәдени трансформация мәселелерін түсіндірудегі рөлі қарастырылады. Автор мерзімді басылымдар, публицистикалық еңбектер, естеліктер мен ғылыми әдебиеттер негізінде бұл пікірталастардың интеллектуалдық бастауларын және олардың ұлттық мінез-құлық, психология және ұлт қалыптастыру жөніндегі жалпыеуропалық ғылыми пікірталастармен байланысын талдайды. Сонымен қатар беларусь христиандық демократтарының психология мен психоанализ идеяларын діни-адамгершілік қағидалармен ұштастыра отырып, ұлттық жаңғыру тұжырымдама-сын қалыптастыруы көрсетіледі. Зерттеу нәтижелері олардың қоғамдық өзгерістер туралы көзқарастары Батыс Еуропа мен Солтүстік Американың орта тап құндылықтарын, атап айтқанда азаматтық жауапкершілік, өзін-өзі тәртіпке келтіру, білім беру және қоғамдық өмірге белсенді қатысу сияқты ұстанымдарды қабылдаумен тығыз байланысты болғанын дәлелдейді. Қорытындысында ұлттық мінез-құлық ұғымы беларусь қоғамын жұмылдырудың, жаңғыртудың және ұлттық сананы нығайтудың маңызды идеологиялық құралы болғаны тұжырымдалады.

Түйінді сөздер: ұлттық мінез-құлық, беларусь христиан-демократиясы, соғыстар аралық Польша, орта тап құндылықтары, психоанализ, ұлттық бірегейлік, жаңғырту.

ЦЕННОСТИ СРЕДНЕГО КЛАССА, ПСИХОАНАЛИЗ, РЕЛИГИЯ И ДИСКУССИИ О БЕЛОРУССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ СУЩНОСТИ В МЕЖВОЕННОЙ ПОЛЬШЕ

Пагарельй А.* – PhD, Институт солидарности и мужества имени Витольда Пилецкого, г. Варшава, Республика Польша.

В статье исследуются дискуссии о белорусском национальном характере, которые вели белорусские интеллектуалы и политические деятели в межвоенной Польше (1921-1939 гг.), с особым вниманием к деятельности Белорусской христианской демократии. Рассматривается, каким образом представления о национальном характере использовались для осмысления вопросов национальной идентичности, общественной модернизации и культурной трансформации в условиях политической раздробленности, конфессионального разнообразия и отсутствия развитого сред-

него класса. На основе анализа периодической печати, публицистики, мемуаров и научной литературы автор показывает интеллектуальные истоки данных дискуссий и их связь с общеевропейскими дебатами о национальном характере, психологии и нациестроительстве. Особое внимание уделяется использованию идей психологии и психоанализа, которые белорусские христианские демократы сочетали с религиозно-нравственными принципами при разработке концепции национального обновления. Показано, что их представления о преобразовании общества были тесно связаны с усвоением ценностей западноевропейского и североамериканского среднего класса, включая гражданскую ответственность, самодисциплину, образование и активное участие в общественной жизни. Делается вывод, что концепция национального характера выступала важным идеологическим инструментом мобилизации белорусского общества, модернизации и укрепления национального самосознания.

Ключевые слова: национальный характер, белорусская христианская демократия, межвоенная Польша, ценности среднего класса, психоанализ, национальная идентичность, модернизация.

Introduction. After the Polish–Soviet War of 1919–21, the territory that roughly corresponds to what today constitutes the Republic of Belarus was divided between Bolshevik Russia and the Second Republic of Poland as a result of the peace treaty signed in Riga on March 18, 1921 [1]. Roughly speaking, the western part, with a substantial ethnic Belarusian population, was ceded to Poland. These territories were later divided into four voivodeships: Białystok, Polesie, Nowogródek, and Wilno. The actual number of Belarusians living in Poland is contested. According to some estimates, it reached up to 3,460,900 people [2].

Belarusians were a minority who lived within the borders of the Second Polish Republic. The democratic regime established in the early years of the Second Polish Republic gave Belarusians the opportunity to take part in relatively free and fair parliamentary elections in the early 1920s. The first parliamentary elections of 1922 were relatively successful for Belarusians [3].

However, Belarusian intellectuals and political leaders in Poland faced many serious challenges. They struggled to come to terms with the division of Belarusian lands into several parts. Belarusians were divided not only territorially among Latvia, Poland, and Bolshevik Russia (the USSR since December 1922), but also along confessional lines, into major Christian denominations: Russian Orthodox, Roman Catholics, and smaller but growing Protestant groups. In social terms, there still remained members of the former petty gentry (*szlachta zagrodowa*) [4] and the so-called "local-minded" [5], the latter being more prevalent and more firmly entrenched than any national identity. Belarusians lacked their own middle classes [6]. Most Belarusians were still employed in agriculture. Only around 19% of the population in Polesie Voivodeship were employed outside agriculture. White-collar workers accounted for just 2.5% [7]. The Belarusian urban community was very small – in the late 19th century just 5.72% belonged to burghers in territories where ethnic Belarusians constituted a majority [8]. Many petty burghers were in fact engaged in agriculture [9]. In interwar years, the level of urbanization in the Wilno and Nowogródek voivodeships was minimal [10].

This situation was further complicated by the problem of refugees and displaced persons. According to some estimates, 1.5 million Belarusian villagers – most of whom were Russian Orthodox – had to leave their homes after 1915, pressured by the tsarist military authorities [11]. Continuous military operations from 1914 to 1921, as well as episodes of armed conflict that lasted until 1925 [12], left behind destroyed settlements, industry, and agriculture. Entire small towns ceased to exist [13].

The aim of the study. In view of all these problems, Belarusian intellectuals and political leaders wrestled with the problem of national identity. Their discussions during the interwar years took the form of debates over the national character. The idea of the nation as an entity possessing a set of qualities that represent its uniqueness – overriding all class and group loyalties and differing from its neighbors – was a highly convenient discursive tool, as national character is never clearly defined or permanently settled [14; 15]. The concept of national character reflected the desire of leaders of national movements to reshape the national character, assert its uniqueness, and simultaneously preserve its essence unchanged. Nevertheless, this does not render national character merely an abstract category – it can become real when a sufficient number of people internalize it [16].

The objectives of the study are as follows: to trace the intellectual origins of debates on Belarusian national character in interwar Poland and situate them within wider European discussions on national character and psychology; to examine the role of Belarusian Christian Democracy in shaping and disseminating concepts of national character through periodical press and public organizations; to analyze how secular concepts of psychology and psychoanalysis were combined with religious and moral frameworks in the discourse of Belarusian Christian Democrats; to identify the specific West European and North American middle class values promoted as models for the transformation of Belarusian society; to assess the function of the concept of national character as an ideological instrument for social mobilization and national modernization.

The theme of national character has been recurrent in European thought and assumed even greater importance from the eighteenth century onward [18]. One can easily find treatises on the peculiarities of the psychology of various European nations published during the period around World War I [19; 20]. So-called "national characterology" assumed a prominent role due to World War I, and the intellectual output it

produced had powerful repercussions across Europe [21]. In the 1930s, European ethnologists were preoccupied with topics of national character, popular mentalities, and folk psychology [22]. It was later observed that east European character lacked form, and Belarusian character was seen as equally formless [23].

There are various approaches to the study of national character. Social and cultural anthropologists either take an essentialist view of it [24] or combine its study with the problem of religion in the case of ethos [25]. Historical sociology dismisses it as just an effect of the functioning of institutions [26]. However, it is important to combine both these approaches in order to better understand the changing notions and views of national character [27].

This paper argues that Belarusian Christian Democrats embraced a very specific view of national character which was relevant to their moral and religious views but also was related to secular concepts of psychology and self-improvement. This had practical significance for them as it allowed them to couch their discourse in secular terms for those who did not belong to the Roman Catholic community [28]. It was also directly related to encouraging civic participation, development of national consciousness, and uplifting the cultural and social conditions of Belarusian villagers. Thus, it was about ideas and beliefs [29], not material factors or violence, that were deemed crucial for changing the attitudes and values of Belarusians. Just as European middle classes [30], Belarusian Christian Democrats believed that social change was about morals, not economics.

Methodology. The term 'middle class' is no less problematic and fuzzy than 'national character'. Generally, it is assumed that this stratum sits somewhere in the middle between upper strata and the lower strata [31]. Its representatives defined themselves by viewing both aristocratic and urban proletarian and peasant cultures as amoral and irrational [32]. West European and North American middle class culture itself was changing and the category was far from being monolithic and socially homogenous [33]. Nevertheless, in the context of East-Central Europe, just as Western scientific theories were seen as dogma, European ideas of Enlightenment and modernity provided criteria by which intellectuals and leaders of the peripheral European societies judged themselves [34; 35].

One very important aspect must be taken into consideration while analyzing how Belarusian Christian Democrats viewed and represented new values. Patterns of behavior and new values were represented as something that made a given European country what it was and that was necessary for Belarusians to adapt in order to be as prosperous and developed as other European nations. The reason was that Belarusians could have perceived all these new values and habits as simply 'aping the lords'. The 'lords' – initially representatives of landowning elites – were socially and culturally alien to Belarusian villagers [36]. Invoking authoritative examples of other countries, like England, also could serve the purpose of bolstering the appeal of a given political movement or party [37].

It is necessary to stress that analyzing the influence of the elements of West European and North American middle class culture on Belarusian intellectuals and politicians from the Christian Democratic camp does not at all mean one should accept the approach of Soviet Belarusian historiography that dismissed Belarusian Christian Democracy as just a 'bourgeois' party [38]. Soviet Belarusian historiography was rather an instrument of propaganda and a means of erasing Belarusian memory. It is interesting, however, that Belarusian Christian Democrats themselves rejected in words the lifestyle of 'burghers' (bourgeoisie) and nobility [39]. The lifestyle of the poorest peasants, the habits, ways, and worldview of the older generation were also incompatible with the idealized image of what hard-working, nationally conscious Belarusian villagers had to become [40]. This interaction of 'national character' and borrowed middle class values was meant to produce a new type of culture and values, which in its turn could allow the integration of Belarusian villagers into modern society [41].

Before analyzing various views and ideas about Belarusian national character in interwar Poland, it is important to stress that 'national character' for Belarusians in interwar Poland was primarily viewed as a variable dependent on various political and social agendas, scientific approaches, and aesthetic theories. The theme of national character, psychoanalysis, and new values articulated in the Belarusian public sphere [42] – especially by newspapers and magazines affiliated with Belarusian Christian Democracy – were part of the larger debate about the social transformation of Belarusian society in Poland, uplifting Belarusian villagers' standards of living, and creating a modern society organized as a nation.

Results. Belarusian Christian Democracy was founded by a group of Belarusian Roman Catholic priests and lay Catholic activists in May 1917 in Petrograd as the Christian Democratic Association [43]. Later, in 1926, it was renamed Belarusian Christian Democracy (*Bielaruskaja chryscijanskaja demakratyja*). After January 1918, facing persecution from the newly established Bolshevik regime, Belarusian Catholic activists moved their activities to Minsk [43]. After a break following February 1918, when the key Christian Democratic newspaper *Krynica* ceased publication in Minsk, it resumed publication in Wilno on August 24, 1919 [44].

Key Belarusian Christian Democratic periodicals were *Krynica* ('The Wellspring', launched October 1917 in Petrograd; from September 1925 – *Bielaruskaja Krynica*, 'The Belarusian Wellspring'). Other publications were launched in Wilno. They included *Chryścijanskaja Dumka* ('Christian Thought', 1928–39), *Samapomač* ('Self-Help', 1932–39), *Ślach Moładzi* ('Path of Youth', 1929–39) and others [45]. Belarusian

Christian Democratic periodicals were initially published in the Latin alphabet; beginning in 1929, they also appeared in Cyrillic [45].

A very important role in spreading Christian Democratic ideology, stimulating Belarusian villagers' participation in politics and processes of modernization was played by the Belarusian Institute of Economy and Culture (*Bielaruski Instytut Haspadarki i Kultury*). It was founded on May 26, 1926 in Wilno. The membership of the Institute reached its peak of up to 1,000 people in 1934–1935 [46].

Another important aspect to take into consideration while analyzing interwar Belarusian publications is the pervasive use of a black-and-white imagery in representing social reality. Various phenomena, ideas, and traits were classified as belonging either to the sphere of good or bad, depending on the extent to which they could contribute to the development of Belarusian national self-consciousness and the raising of civic self-awareness [47].

Thus, certain traits of the Belarusian national character that were deemed harmful – standing in the way of Belarusians' progress toward forming a modern European nation – were stigmatized and dismissed as ones that should be either overcome or completely eradicated. In this respect, the opinion of Maksim Tank (Jaŭhien Skurko) (1912–1995), a Belarusian poet whose literary career began in interwar Poland, is very characteristic. He confided in his diary in an entry from June 23, 1939 that a nation's character includes not only positive but also negative features, and that Belarusians had a unique negative feature shaped by their history – namely, indifference to their own language and culture [48].

Although the theme of 'national character' was not addressed as a distinct, coherent subject, certain elements of it were nevertheless articulated in ethnographic research in the second half of the 19th century, such as the individualism, forgiveness, and non-vindictiveness of Belarusian villagers [49]. Belarusian national ideology was developing in the early 20th century [50; 51]. The time before the outbreak of World War I and its first months brought the question of the national character to the center of public debate. In December 1914 the Belarusian conservative Catholic weekly *Biellarus* noted that nationality is a community of people who share a common language, character, customs, and territory [52; 53]. Several years later, in October 1917, Ryhor Klonowič (Rev. Adam Stankievič) stated that people of other nationalities differ from Belarusians in their language, way of life, and character [54]. Later, Belarusians were described simultaneously as 'calm', 'gentle', 'savage', 'semi-savage', and 'pugnacious' [55].

Discussion. The first essay on the topic of Belarusian national essence with a philosophical depth, providing historical examples and making sweeping generalizations was 'The Eternal Way' (*Adviečnym Šlacham*) by Ihnat Abdziralovič (Ihnat Kančeŭski) (1896–1923), published in 1921. After examining Belarusian historical development since the 10th century and drawing a comparison between the 'East' (represented by Russia) and the 'West' (represented by Poland), he concluded that both had failed to formulate a conception of a unique and authentic Belarusian national self. This mindset, in Abdziralovič's view, was characterized by a perennial wavering between the 'East' and the 'West'. For him, only national independence could ensure for Belarusians their existence as a nationally distinct entity [56]. The debate over the issue of national character tended to be focused on the ability of nations to create their own institutions and to make them efficient [57].

A different approach is demonstrated by the polemics sparked by an essay by Prof. Marian Zdziechowski (1861–1938). Zdziechowski, a Pole of Lithuanian-Belarusian ancestry, was born in the Minsk Governorate and wrote extensively on the Russian Slavophile tradition. His essay focused on the poet Ludwik Kondratowicz (1824–1862) and compared the position of historic Lithuania to that of Brittany and Provence in France, drawing on the idea of regionalism gaining popularity in Poland in the first half of the 1920s [58; 59].

A Belarusian response was published in 1924 by Uladzimir Samojła (pen name Sulima) (1878–1941). Both Samojła and Zdziechowski drew on the concepts of Hegel and Fichte. Nevertheless, Samojła criticized Zdziechowski for downplaying the negative effect of Polish-Lithuanian unions and the polonization of Belarusian and Lithuanian nobility. He preferred to use the concept of 'soul' rather than 'national character', in which melancholy constituted a defining feature of the 'Belarusian soul'. While Samojła hoped that Soviet Belarusization policy would ultimately bring positive change for Belarusians, Zdziechowski saw death of civilization in the newly established Bolshevik system [60].

The significance of the Belarusian language in the context of national character was again addressed by Anton Łuckievič (pen name Navina) (1884–1942). His article dealt specifically with the role of the Belarusian language in the 19th century. Łuckievič introduced psychoanalytical concepts employing the distinction between the subconscious and conscious in Kondratowicz's poetry – the former constituting his experience of daily life and contact with Belarusian land and people, and the latter being his attitude to Belarusian language and culture [61].

The aspect of physical strength as a characteristic trait of Belarusians was raised in the second half of the 1920s [62]. Just as psychoanalysis appealed to some, anthropology was appealing to young Belarusian intellectuals like Mikoła Iljaševič (1903–1934). In 1928, he published an article titled 'The origins, ancient historical evidence and anthropological traits of Belarusians,' arguing that natural barriers such as forests and swamps not only isolated Belarusian lands but also allegedly repelled various barbarian and nomadic groups. He maintained that geographical conditions, alongside historical and political factors, shaped the

traits characteristic of each people, describing Belarusians as strong, robust, and resilient – qualities he believed were shaped by the hard agricultural labor of Belarusian villagers [63].

The idea of alleged ethnic or racial 'purity' occasionally appeared in the Belarusian press in interwar Poland. It was claimed that Belarusians were supposedly representatives of the purest Slavic type. This idea originated in the research of physical anthropologists of the late imperial period and carried over into the works of Belarusian historians such as Mitrafan Doŭnar-Zapolski (1867–1934) and Usiewaład Ihnatoŭski (1881–1931) [64; 65]. This concept also found its way to the Christian Democratic press [67], however its general influence on the ideology of Belarusian Christian Democracy was marginal. There was also another source of the idea of 'pure Slavic type': 19th-century ethnographic research linked with the widespread idea of the need to have a 'nationally pure' history [68].

Conclusion. The debates on Belarusian national character in interwar Poland were neither academically isolated nor politically neutral. Belarusian Christian Democrats used the concept of national character as a practical tool for social mobilization, employing it to advocate for the adoption of West European and North American middle class values – including civic responsibility, self-improvement, and moral discipline – among the Belarusian peasantry. Their discourse combined religious and moral frameworks with the secular appeal of psychology and psychoanalysis, allowing them to address audiences beyond the Roman Catholic community. The analysis of key intellectual contributions – from Abdziralovič's philosophical essay to the engagements with psychoanalytic and anthropological concepts – reveals that the concept of 'national character' in interwar Belarusian intellectual life was above all a variable and politically loaded instrument for articulating the goals of national modernization. The interaction between 'national character' and borrowed middle class values was intended to produce a new type of culture that would facilitate the integration of Belarusian villagers into modern European society.

REFERENCES:

- 1 **Borzęcki J. Soviet-Polish Peace of 1921 and the Creation of Interwar Europe.** New Haven and London, Yale University Press, 2008, 401 p.
- 2 **Rudling A.P. The Rise and Fall of Belarusian Nationalism 1906–1931.** Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2015, pp. 170–171.
- 3 **Ragula V. Uspaminy** [Memoirs]. Minsk, 1993. (In Belarusian)
- 4 **Tomaszewski J. Rzeczpospolita wielu narodów** [Commonwealth of many nations]. Warszawa, 1985, pp. 115–116, 118. (In Polish)
- 5 **Snyder T. Reconstruction of Nations: Poland, Ukraine, Lithuania, Belarus, 1569–1999.** New Haven and London, Yale University Press, 2003, p. 40
- 6 **Stiepoŭič A. Czynniki procesu asymilacyjnego** [Factors of the assimilation process]. *Bielaruskaja dumka ŭ XX st. Filasofija, relihija, kultura*, Warszawa, 1998, 319 p. (In Polish)
- 7 **Tomaszewski J. Z dziejów Polesia** [From the history of Polesie]. Warszawa, 1963, 51 p. (In Polish)
- 8 **Tierieszkiewicz P.V. E'tnicheskaya istoriya Bielarusi v XIX–nachale XX v.** [Ethnic history of Belarus in the 19th – early 20th century]. Minsk, 2004, pp. 125–144. (In Russian)
- 9 **Tomaszewski J. Kwestia agrarna na Białorusi Zachodniej** [The agrarian question in Western Belarus]. *Druga Rzeczpospolita*, Warszawa, 1977, 220 p. (In Polish)
- 10 **Notkowski A. Polska prasa prowincjonalna Drugiej Rzeczypospolitej (1918–1939)** [The provincial Polish press of the Second Republic (1918–1939)]. Warszawa–Łódź, 1982, 222 p. (In Polish)
- 11 **Biezhanza 1915 hoda** [The refugee flight of 1915]. Ed. by V. Luby, Białystok, 2000. (In Belarusian)
- 12 **Gatrell P. A whole empire walking: Refugees in Russia during World War I.** Bloomington, 1999.
- 13 **Śleszyński W. Walka instytucji państwowych z białoruską działalnością dywersyjną 1920–1925** [The struggle of state Institutions against Belarusian subversive activity 1920–1925]. Białystok, 2005. (In Polish)
- 14 **Januszewska-Jurkiewicz J. Stosunki narodowościowe na Wileńszczyźnie w latach 1920–1939** [Ethnic relations in the Vilnius region, 1920–1939]. Katowice, 2011, 108 p. (In Polish)
- 15 **Jedlicki J. A suburb of Europe: Nineteenth-century Polish approaches to Western civilization.** Budapest–New York, 1999, pp. 24–28.
- 16 **Greenfeld L. Nationalism: Five roads to modernity.** Cambridge, MA – London: Harvard University Press, 1992, pp. 276–364.
- 17 **Lass A. "What are we like?": National character and aesthetics of distinction in interwar Czechoslovakia.** National Character and National Ideology in Interwar Eastern Europe, New Haven, 1995, 59 p.
- 18 **Verdery K. Introduction.** National Character and National Ideology in Interwar Eastern Europe, New Haven, 1995, pp. 39–64.

- 19 **Imagology: The cultural construction and literary representation of national characters. A critical survey.** Eds. Beller M., Leerssen J. Amsterdam–New York, Rodopi, 2007, 476 p.
- 20 **Fouillée A. Esquisse psychologique des peuples européens** [Psychological sketch of the European peoples]. Paris, 1903. (In French)
- 21 **Barker E. National character and the factors in its formation.** London, 1927.
- 22 **Górny M. Wielka wojna profesorów. Nauki o człowieku (1912–1923)** [The Great War of professors: Human sciences, 1912–1923]. Warszawa, Instytut Historii PAN, 2016, 370 p. (In Polish)
- 23 **Löfgren O. Deconstructing swedishness: Culture and class in modern Sweden.** *Anthropology at Home*, ed. by Jackson A., London–New York, 1987, 75 p.
- 24 **Miłosz C. Rodzinna Europa** [Native realm]. Paris, 1959, pp. 52–59. (In Polish)
- 25 **Benedict R. The Chrysanthemum and the Sword. Patterns of Japanese Culture.** London, 1947.
- 26 **Epstein E.L. Ethos and identity: Three studies in ethnicity.** London–Chicago, 1978, pp. 113–138.
- 27 **Moore B., Jr. Social Origins of Dictatorship and Democracy: Lord and Peasant in the Making of the Modern World.** Harmondsworth: Penguin Books, [1966] 1991.
- 28 **Østergård U. Peasants and Danes: The Danish national identity and political culture.** *Comparative Studies in History and Society*. 1992, vol. 34. No. 1, pp. 3–27.
- 29 **Svyrid A.N. Uniackaya cerkov' v Zapadnoj Bielarusi (1921–1939 gg.)** [The Uniate Church in Western Belarus (1921–1939)]. Brest, 2012. (In Russian)
- 30 **Hanson S. Time and revolution. Marxism and the design of soviet institutions.** Chapel Hill & London, 1997, 13 p.
- 31 **Löfgren O. The sweetness of home: Class, culture and family life in Sweden.** *Ethnologia Europaea*, 1984, vol. XIV, 52 p.
- 32 **Jaffrelot C., van der Veer P. Introduction.** *Patterns of Middle Class Consumption in India and China*. Los Angeles, 2008, 11 p.
- 33 **Löfgren O. Our friends in nature: Class and animal symbolism.** *Ethnos*, 1985, vol. 50, no. 3–4, pp. 208–209.
- 34 **Vakar N. The Taproot of Soviet society.** New York, 1962, 29 p.
- 35 **Engelstein L. Keys to happiness.** Ithaca and London, 1992, 9 p.
- 36 **Pawluczuk W. Światopogląd jednostki w warunkach rozpadu społeczności tradycyjnej** [The worldview of the individual in conditions of the dissolution of traditional community]. Warszawa, 1972, 144 p. (In Polish)
- 37 **Zayarnyuk A. Letters from heaven: An encounter between 'national movement' and 'popular culture'.** *Letters from Heaven*, eds. Himka J.-P., Zayarnyuk A. Toronto–Buffalo–London, 2006, pp. 166–193.
- 38 **Tomaszewski J. Białruska chrześcijańska demokracja** [Belarusian Christian Democracy]. *Studia polsko-litewsko-białoruskie*, Warszawa, 1988, pp. 157–158. (In Polish)
- 39 **Paharely A. Transformacyja elementaŭ sialianski kultury ŭ nacional'nyja symboly** [The transformation of elements of peasant culture into national symbols]. *Arche*, 2011, no. 11, 455 p. (In Belarusian)
- 40 **Karchoŭski. Adradženski ruch** [The revival movement]. *Šlach Moładzi*, 1930, no. 6, 15 p. (In Belarusian)
- 41 **Moore B. Jr. Social origins of dictatorship and democracy.** pp. 422, 429.
- 42 **Paharely A. Presa i publichnaja sfera ŭ zachodniebielarskaj wioscy ŭ 1920–30-ja hady** [The Press and the Public Sphere in the Western Belarusian Village in the 1920s–30s]. *Bielaruski historyчны ahljad* [Belarusian Historical Review]. 2016, vol. 23, no. 1–2, pp. 18–40. (In Belarusian)
- 43 **Moroz M. "Krynica": Ideologia i przywódcy białoruskiego katolicyzmu** ["Krynica": The Ideology and Leaders of Belarusian Catholicism]. Białystok, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, 2001, 61 p. (In Polish)
- 44 **Stankievič Ad. Bielaruski Chryścijanski Ruch (Histaryčny narys)** [The Belarusian Christian Movement (a historical outline)]. Vilnia, 1939, pp. 149–150. (In Belarusian)
- 45 **Traczuk J. Prasa Białoruska w II Rzeczypospolitej** [The Belarusian press in the Second Polish Republic]. *Studia Polono-Slavica Orientalia. Acta literaria*, 1992, vol. XIII, pp. 185–373. (In Polish)
- 46 **Vaškievič A. Haradskija i miestačkovyja arhanizacyi Bielarskaj Chryscijanskaj Demakratyi** [Urban and small-town organizations of Belarusian christian democracy]. *Harady Bielarusi ŭ kantełktsie palityki, ekanamiki, kultury*, Hrodna, 2007, 198 p. (In Belarusian)
- 47 **Paharely A. Chorna-belaya» re'chaisnasc' u svyatile pre'sy mizhvaennaj Belarskaj Xrysčijanskaj De'makratyi** ['Black-and-white' reality in the light of the interwar Belarusian Christian democratic press]. *Studia interkulturowe Europy Środkowo-Wschodniej*, 2020, vol. 13, pp. 278–299. (In Belarusian)
- 48 **Tank M. Listki z kalendara** [Pages from the calendar]. *Zbor tvoraŭ u čatyroch tamach*, 1967, vol. 4, pp. 428–429. (In Belarusian)

- 49 **Tokć S.M. Bielaruskaja wioska ў epochu zmetau** [The Belarusian village in an era of change]. Minsk, 2007, pp. 97–98, 104. (In Belarusian)
- 50 **Bulhakov V. Historyja bielaruskaha nacyjanalizmu** [History of Belarusian Nationalism]. Vilnia, Instytut belaruskistyki, 2006, pp. 203–229. (In Belarusian)
- 51 **Unuchak A.U. "Nasha Niva" i bielaruski nacyjanalni ruch (1906–1915 hh.)** ["Nasha Niva" and the Belarusian National Movement (1906–1915)]. Minsk, Bielaruskaja navuka, 2008, pp. 96–114. (In Belarusian)
- 52 **Klonowicz R. Nowaja pucina III** [The new snare III]. Belarus, 1914, no. 9, 2 p. (In Belarusian)
- 53 **Ryhor KI-ič. Narodnasć i wojny** [Nationality and wars]. Belarus. 1914, no. 50, 1 p. (In Belarusian)
- 54 **Klonowicz R. Bielarus i jaje adradžeńnie** [Belarus and its revival]. Krynica, 1917, no. 1, pp. 2–3. (In Belarusian)
- 55 **Swajak Kaz. Jak jany hamanili** [How they were talking]. Krynica, 1919, no. 4, 2 p. (In Belarusian)
- 56 **Abdziralovich I. Adviečnym ślacham: Daslediny bielaruskaha swietahljadu** [The Eternal Way: Studies of the Belarusian Worldview]. Vilnia, 1921, 24 p. (In Belarusian)
- 57 **James H. German Identity, 1770–1990**. New York, 1989. p. 23, as cited in: **Lass A. "What are We Like?"** p. 47.
- 58 **Zdziechowski M. Władysław Syrokomla. Pierwiastek litewsko-białoruski w twórczości polskiej** [Władysław Syrokomla. The Lithuanian-Belarusian Element in Polish Literature]. Wilno, 1924. (In Polish)
- 59 **Ruch regionalistyczny w Europie** [The Regionalist Movement in Europe]. Praca zbiorowa / pod red. Patkowskiego A. Warszawa, 1934. (In Polish)
- 60 **Zdziechowski M. Władysław Syrokomla** [Władysław Syrokomla]. Wilno, 1924. (In Polish)
- Sulima (Samojła U.). Prof. Zdziechowski ab bielaruskaj duży** [Prof. Zdziechowski on the Belarusian Soul]. Vilnia, 1924. (In Belarusian)
- 61 **Navina A. (Łuckievič A.). Padsvedamaje i svedamaje u "duży bielaruskaj" Syrakamli** [The subconscious and the conscious in the 'Belarusian Soul' of Syrokomla]. *Studentskaja dumka*, 1925, no. 1, pp. 12–15. (In Belarusian)
- 62 **Kazlouščyk U. Fizičnaje vychawańnie hramadźianstva** [Physical education of citizens]. *Bielaruskaja Krynica*, 1926, no. 44, 5 p. (In Belarusian)
- 63 **Ilaševič M. Pachodzańnie, staradaŭnia vestki i antropologičnyja adznaki Bielarusaŭ** [The Origins, Ancient Evidence, and Anthropological Traits of Belarusians]. *Studentskaja dumka*, 1928, no. 1, pp. 9–15. (In Belarusian)
- 64 **Lastoŭski A. Rasavyja idej ŭ bielaruskim nacyjanalizme pačatku XX st.** [Racial ideas in Belarusian nationalism at the beginning of the 20th century]. *Białoruskie Zeszyty Historyczne*, 2019, no. 52, pp. 69–73. (In Belarusian)
- 65 **Ihnatoŭski U. Karotki narys historyi Bielarusi** [A short outline of the history of Belarus]. Vilnia, 1921. (In Belarusian)
- 66 **Turonek J. Książka białoruska w II Rzeczypospolitej** [The Belarusian book in the Second Polish Republic]. Warszawa, 2000, pp. 58, 64. (In Polish)
- 67 **Kazlouščyk U. Ab fizičnym vychawańni ŭ Bielarusaŭ** [On physical education among Belarusians]. *Bielaruskaja Krynica*, 1928, no. 33, 3 p. (In Belarusian)
- 68 **Lindner R. Historyki i ŭłada** [Historians and power]. Minsk, 2003, 249 p. (In Belarusian)

Information about the author:

Paharely Aliaksandr – PhD, Witold Pilecki Institute of Solidarity and Valor, Republic of Poland, 00-815 Warszawa, 82 Sienna Str., tel.: +48 532 827 474, e-mail: a.paharely@instytutpileckiego.pl.*

Пагарельі Аляксандр – PhD, Витольд Пилецкий атындағы Ынтымақтастық және ерлік институты, Польша Республикасы, 00-815 Варшава қ., Сиенна көш. 82, +48 532 827 474 e-mail: a.paharely@instytutpileckiego.pl.*

Пагарельі Аляксандр – PhD, Институт солидарности и мужества имени Витольда Пилецкого, Республика Польша, 00-815 г. Варшава, ул. Сиенна 82, тел.: +48 532 827 474, e-mail: a.paharely@instytutpileckiego.pl.*

МРНТИ 03.20

УДК 93/94

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621256>

ЛИНЕЙНАЯ ТОРГОВЛЯ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XVIII ВЕКА КАК МЕХАНИЗМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ В РОССИЙСКУЮ ИМПЕРИЮ

Шалгимбеков А.Б. – кандидат исторических наук, ассоциированный профессор кафедры истории Казахстана, Костанайский государственный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Тобыл, Республика Казахстан.*

Гуляев И.И. – кандидат философских наук, доцент экономического факультета Белгородского государственного аграрного университета имени В.Я. Горина, п. Таврово-8, Российская Федерация.

В статье рассматриваются особенности развития линейной торговли в северном регионе Казахстана во второй половине XVIII века как одного из важнейших инструментов экономической интеграции казахской степи в хозяйственное пространство Российской империи. Актуальность исследования обусловлена необходимостью более глубокого изучения торгово-экономических механизмов освоения приграничных территорий и их роли в укреплении российского влияния в регионе. Цель исследования заключается в выявлении основных направлений развития линейной торговли и определении её значения в процессе хозяйственного освоения Северного Казахстана. Источниковую базу составили опубликованные сборники документов по истории российско-казахских отношений, труды дореволюционных исследователей, а также материалы Государственного архива Омской области. Методологическую основу исследования составили принципы историзма, объективности и системности, а также историко-сравнительный, историко-генетический и проблемно-хронологический методы. В результате исследования установлено, что важнейшими центрами приграничной торговли являлись Оренбург, Троицк, Петропавловск и Пресногорьковская крепость. Показано, что линейная торговля способствовала расширению хозяйственных связей между Российской империей и казахским населением, стимулировала развитие товарооборота, формирование новых экономических отношений и распространение элементов материальной культуры. Одновременно торговая политика имперской администрации обеспечивала контроль над товарными потоками, таможенными поступлениями и деятельностью участников торговли. Сделан вывод о том, что линейная торговля выступала не только важным экономическим механизмом взаимодействия, но и эффективным инструментом интеграции северного региона Казахстана в политическое и хозяйственное пространство Российской империи.

Ключевые слова: линейная торговля, Северный Казахстан, Российская империя, пограничные укрепления, российско-казахские отношения, экономическая интеграция, Петропавловск.

XVIII ҒАСЫРДЫҢ ЕКІНШІ ЖАРТЫСЫНДАҒЫ СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖЕЛІЛІК САУДА РЕСЕЙ ИМПЕРИЯСЫНА ЭКОНОМИКАЛЫҚ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ ТЕТІГІ РЕТІНДЕ

Шалгимбеков А.Б. – тарих ғылымдарының кандидаты, Қазақстан тарихы кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Тобыл қ., Қазақстан Республикасы.*

Гуляев И.И. – философия ғылымдарының кандидаты, экономика факультетінің доценті, В.Я. Горин атындағы Белгород мемлекеттік аграрлық университеті, Таврово-8 кенті, Ресей Федерациясы.

Мақалада XVIII ғасырдың екінші жартысындағы Солтүстік Қазақстан өңіріндегі желілік сауданың дамуы және оның қазақ даласын Ресей империясының шаруашылық кеңістігіне енгізудегі рөлі қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі шекаралық аумақтарды игерудің сауда-экономикалық тетіктерін және олардың өңірдегі ресейлік ықпалды нығайтудағы маңызын тереңірек зерделеу қажеттілігімен айқындалады. Зерттеудің мақсаты – желілік сауданың даму ерекшеліктерін анықтау және оның Солтүстік Қазақстанды шаруашылық игеру үдерісіндегі маңызын бағалау. Деректік негіз ретінде қазақ-орыс қатынастары тарихына қатысты құжаттар жинақтары, революцияға дейінгі зерттеушілердің еңбектері және Омбы облыстық мемлекеттік архивінің материалдары пайдаланылды. Зерттеудің әдіснамалық негізін тарихилық, объективтілік және жүйелілік қағидаттары, сондай-ақ тарихи-салыстырмалы, тарихи-генетикалық және проблемалық-хронологиялық әдістер құрады. Зерттеу нәтижесінде Орынбор, Троицк, Петропавл және Пресногорьков бекіністері шекаралық сауданың негізгі орталықтары болғаны анықталды. Желілік сауданың Ресей империясы мен қазақ халқы арасындағы шаруашылық байланыстарды кеңейтуге, тауар айналымының өсуіне, жаңа экономикалық қатынастардың қалыптасуына және материалдық мәдениет элементтерінің таралуына ықпал еткені көрсетілді. Сонымен қатар империялық әкімшілік

жүргізген сауда саясаты тауар ағындарын, кедендік түсімдерді және сауда қатысушыларының қызметін бақылауға мүмкіндік берді. Қорытындысында желілік сауда тек экономикалық байланыс құралы ғана емес, сонымен қатар Солтүстік Қазақстанды Ресей империясының саяси және шаруашылық кеңістігіне кіріктірудің маңызды тетігі болғаны анықталды.

Түйінді сөздер: желілік сауда; Солтүстік Қазақстан; Ресей империясы; шекаралық бекіністер; қазақ-орыс қатынастары; экономикалық интеграция; Петропавл.

LINEAR TRADE IN NORTHERN KAZAKHSTAN IN THE SECOND HALF OF THE 18TH CENTURY AS A MECHANISM OF ECONOMIC INTEGRATION INTO THE RUSSIAN EMPIRE

Shalgimbekov A.B.* – Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Department of history of Kazakhstan, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Tobyl, Republic of Kazakhstan.

Gulyayev I.I. – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor, Faculty of economics, V.Ya. Gorin Belgorod State Agrarian University, Tavrovo-8 village, Russian Federation.

The article examines the development of line trade in the northern region of Kazakhstan during the second half of the eighteenth century and its role as one of the key instruments for integrating the Kazakh steppe into the economic system of the Russian Empire. The relevance of the study is determined by the need for a deeper understanding of the trade and economic mechanisms that facilitated the incorporation of frontier territories and strengthened Russian influence in the region. The purpose of the research is to identify the main features of line trade development and determine its significance in the economic integration of Northern Kazakhstan. The source base includes published collections of documents on Kazakh–Russian relations, works of pre-revolutionary scholars, and archival materials from the State Archive of the Omsk region. The methodological framework is based on the principles of historicism, objectivity, and systematic analysis, as well as comparative-historical, historical-genetic, and problem-chronological methods. The study demonstrates that Orenburg, Troitsk, Petropavlovsk, and Presnogorskovskaya Fortress were the principal centers of frontier trade. It is shown that line trade contributed to the expansion of economic ties between the Russian Empire and the Kazakh population, stimulated commodity exchange, promoted the emergence of new economic relations, and facilitated the spread of elements of material culture. At the same time, imperial trade policy ensured control over trade routes, customs revenues, and commercial activities. The research concludes that line trade functioned not only as an important economic mechanism of interaction but also as an effective tool for integrating Northern Kazakhstan into the political and economic space of the Russian Empire.

Keywords: line trade, Northern Kazakhstan, Russian Empire, frontier fortifications, Kazakh–Russian relations, economic integration, Petropavlovsk.

Введение. Во второй половине XVIII века Российская империя последовательно реализовывала политику военно-политического и экономического освоения казахской степи. Одним из важнейших инструментов данного процесса стало создание сети пограничных укреплений, обеспечивавших не только безопасность юго-восточных рубежей государства, но и формирование устойчивых хозяйственных связей между степным населением и приграничными районами империи. В этих условиях особое значение приобретала линейная торговля, которая выступала важным фактором экономической интеграции региона и одновременно средством расширения российского влияния в казахской степи.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью более глубокого изучения торгово-экономических механизмов включения северного региона Казахстана в систему хозяйственных связей Российской империи. Несмотря на наличие работ, посвящённых истории российско-казахских отношений XVIII–XIX вв., вопросы функционирования линейной торговли как инструмента экономического освоения региона и реализации имперской политики требуют дальнейшего комплексного рассмотрения.

Отдельные аспекты исследуемой проблемы нашли отражение в трудах Ф. Гельмгольца [1], В.Н. Витевского [2], Ю.А. Гагемейстера [3], И. Завалишина [4], а также в опубликованных сборниках документов по истории казахско-российских отношений [5; 6]. Существенное значение для изучения проблемы имеют архивные материалы Государственного архива Омской области [7; 8; 9; 10], позволяющие реконструировать особенности организации и регулирования торговли на пограничных линиях. Вместе с тем роль линейной торговли в процессе экономического и политического закрепления северного региона Казахстана в составе Российской империи остаётся недостаточно изученной.

Цель статьи заключается в выявлении особенностей развития линейной торговли в северном регионе Казахстана во второй половине XVIII века и определении её значения в процессе экономической интеграции региона в состав Российской империи.

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи**:

- рассмотреть предпосылки формирования системы линейной торговли на пограничных укрепленных линиях;
- охарактеризовать деятельность основных торговых центров северного региона Казахстана;

- проанализировать государственную политику Российской империи в области регулирования приграничной торговли;
- определить влияние торгово-экономических связей на развитие российско-казахских отношений;
- выявить роль линейной торговли в процессе хозяйственного освоения и колониального закрепления региона.

Научная новизна исследования заключается в комплексном рассмотрении линейной торговли северного региона Казахстана как одного из важнейших инструментов экономической интеграции и колониальной политики Российской империи. На основе архивных материалов и опубликованных источников уточнены особенности функционирования Оренбургского, Троицкого и Петропавловского торговых центров, выявлены основные направления государственного регулирования приграничной торговли и раскрыто её влияние на развитие хозяйственных связей между степью и приграничными районами России.

Практическая значимость исследования определяется возможностью использования его результатов при подготовке учебных курсов по истории Казахстана, истории российско-казахских отношений, региональной истории и исторической экономике. Полученные выводы могут быть востребованы при дальнейшем изучении процессов хозяйственного освоения степных территорий и формирования торгово-экономических связей в Центральной Азии в XVIII-XIX веках.

Линейная торговля не только обеспечивала экономические потребности пограничных укреплений и пополнение государственной казны за счёт таможенных сборов, но и способствовала распространению новых хозяйственных практик, товаров и элементов материальной культуры среди казахского населения. В связи с этим исследование её развития позволяет более полно понять особенности социально-экономических и политических процессов, происходивших в северном регионе Казахстана во второй половине XVIII века.

Материалы и методы. Источниковую основу исследования составили опубликованные документальные материалы по истории российско-казахских отношений XVIII-XIX вв. [5; 6], труды исследователей, посвящённые развитию торговли на пограничных линиях Российской империи [1; 2; 3; 4; 7; 8; 9; 10; 11; 12], а также архивные документы Государственного архива Омской области [13; 14; 15; 16], содержащие сведения о функционировании торговых центров, деятельности органов управления и взаимодействии российской администрации с представителями казахской знати.

Методологическую основу исследования составили принципы историзма, объективности и системности, позволившие рассмотреть развитие линейной торговли в контексте социально-экономических и политических процессов второй половины XVIII века. В работе использовались историко-сравнительный, историко-генетический и проблемно-хронологический методы, обеспечившие возможность проследить эволюцию торговых отношений между Российской империей и казахским населением северного региона Казахстана.

Применение комплексного подхода позволило выявить взаимосвязь между развитием пограничной торговли, укреплением военного присутствия России в степи и процессами экономической интеграции региона в общеимперское пространство.

Результаты и обсуждение. Формирование системы линейной торговли в северном регионе Казахстана было непосредственно связано с созданием сети военных укреплений Российской империи и необходимостью их хозяйственного обеспечения. Важнейшими центрами приграничного товарообмена во второй половине XVIII века выступали Оренбургско-Троицкий и Петропавловский торговые районы.

К середине XVIII века Оренбург стал крупнейшим центром торговли на юго-восточных рубежах Российской империи. Здесь функционировали гостинный двор и меновой двор, предназначенные для обслуживания торговых связей с населением степных районов и государствами Центральной Азии. По свидетельству современников, в Оренбурге действовали многочисленные торговые лавки и складские помещения, обеспечивавшие проведение сезонных торговых операций [1, с. 37].

Основу товарооборота составляли скот и хлеб. В период с 1745 по 1759 гг. объём их реализации достиг почти одного миллиона рублей [2, с. 724]. Масштабы торговли подтверждаются сообщением оренбургского губернатора императрице Екатерине II о том, что в отдельные дни обменивалось до 14 тысяч голов овец [5, с. 109].

В целях упорядочения приграничной торговли в 1753 г. были введены таможенные тарифы, разработаны правила осуществления торговых операций и организованы специальные торговые объекты [17, с. 18]. Российское правительство стремилось обеспечить полный контроль над торговыми процессами. Все прибывавшие для торговли казахи проходили таможенный контроль и разоружались, а на торговых площадках размещались специальные военные команды.

Значительный вклад в развитие торговли внёс оренбургский губернатор И.И. Неплюев. С одной стороны, он стимулировал приток купечества, создавал условия для расширения товарооборота и поддерживал развитие торговой инфраструктуры. С другой стороны, любые попытки осуществления торговли вне официально установленных мест жёстко пресекались. За несанкционированные

торговые операции применялись суровые меры наказания, вплоть до телесных взысканий и судебного преследования [17, с. 16].

Стремление администрации сосредоточить всю торговлю под государственным контролем обеспечивало поступление доходов в казну, однако одновременно ограничивало развитие торговой активности на новых пограничных линиях и сдерживало хозяйственное освоение прилегающих территорий.

По мере укрепления российских позиций в степи возрастала роль Троицкой крепости как нового центра торговых отношений с казахами Среднего жуза. В 1750 г. здесь была официально разрешена меновая торговля, что стало важным этапом в развитии российско-казахских экономических связей.

Основными товарами, приобретаемыми казахским населением, являлись хлеб, металлические изделия, бумага, мануфактурные товары, чай и сахар. В обмен предлагались скот и продукция животноводства. Торговля способствовала распространению в степи предметов материальной культуры, связанных с российским образом жизни, что оказывало заметное влияние на трансформацию традиционного хозяйственного уклада [6, с. 77].

Важным фактором роста Троицка стало его выгодное географическое положение на пересечении торговых путей, связывавших европейскую часть России, Сибирь, Казахстан и Центральную Азию. Через крепость проходили торговые маршруты, привлекавшие купцов из различных регионов империи. С 1753 г. право вести здесь торговлю получили и среднеазиатские купцы, что способствовало дальнейшему расширению торговых связей и увеличению таможенных поступлений.

Особое внимание российское правительство уделяло операциям с драгоценными металлами. Русским купцам было разрешено приобретать золото и серебро у азиатских торговцев для последующей продажи в государственную казну, а среднеазиатские купцы получили право привозить драгоценные металлы и ювелирные изделия [17, с. 23]. В результате через Троицкую таможню осуществлялся значительный оборот золота и серебра [2, с. 730].

Успешное функционирование Троицкого менового двора способствовало открытию новых торговых пунктов. В 1759 г. меновой двор был учрежден в Петропавловской крепости, а в 1766 г. – в Пресногорьковской.

Значительную роль в открытии Петропавловского торгового центра сыграли представители казахской знати. Султан Аблай неоднократно обращался к российской администрации с просьбой разрешить торговлю в крепости Святого Петра [3, с. 323]. Поддержка этих инициатив со стороны российских властей объяснялась стремлением укрепить влияние в Среднем жузе и расширить хозяйственные связи с казахским населением [8].

Петропавловская торговля быстро приобрела значительные масштабы. Сюда прибывали купцы из Тобольска, Тюмени, Тары, Казани, Тулы, Курска, Воронежа и других городов Российской империи. Активное участие в торговле принимали также бухарские и ташкентские купцы. В отдельные годы число торговцев превышало сто человек.

В 1777 г. был принят новый таможенный тариф, предусматривавший снижение пошлин для азиатских купцов. Кроме того, беспошлинный провоз шелка и скота способствовал росту товарооборота. В течение одного летнего месяца Петропавловскую крепость посещали от 500 до 650 казахов.

Для торговли на пограничной линии был характерен преимущественно меновой характер расчётов. Стоимость товаров определялась не рыночными механизмами, а соглашением сторон, что нередко приводило к неэквивалентному обмену. Российские купцы получали значительную выгоду благодаря существенной разнице между себестоимостью промышленных товаров и стоимостью приобретаемого скота.

Особенно заметную роль Петропавловский торговый центр играл в торговле скотом. Уже в начале XIX века через местную таможню проходило около 84 % всего скота, поступавшего из Казахстана на российские рынки [18, с. 7].

Сравнительный анализ оборотов торговли показывает, что Петропавловская и Пресногорьковская крепости значительно превосходили большинство торговых пунктов Иртышской линии по объёмам товарооборота. В 1777-1779 гг. наиболее высокие показатели были зафиксированы в Пресногорьковске, где стоимость закупок у степного населения превышала 90 тыс. рублей [19, с. 21].

Несмотря на положительную динамику, развитию торговли препятствовали злоупотребления отдельных представителей администрации. Известны случаи вмешательства военных чиновников в торговые операции и ограничения деятельности купцов, что вызывало многочисленные жалобы и требовало вмешательства центральных органов власти [9].

Серьёзную конкуренцию официальной торговле составляли тайные сатовки – несанкционированные обменные операции между жителями пограничных районов и кочевниками. Для борьбы с ними российское правительство усилило таможенный контроль и организовало систему пограничного надзора. В 1784 г. Петропавловск получил статус одного из важнейших центров внешней торговли империи, сопоставимого по своему значению с Кяхтой [18, с. 8].

Постепенно торговля вышла за пределы крепостей и приобрела разъездной характер. Русские купцы активно выезжали в степь, где осуществляли непосредственный обмен товаров на скот и

продукты животноводства. Однако подобная практика часто сопровождалась завышением цен на промышленные товары и использованием невыгодных для казахов условий обмена [1, с. 45].

Рост торговой активности способствовал появлению ярмарок в степных районах, расширению связей с Центральной Азией и Китаем, а также превращению Петропавловска в один из крупнейших торговых центров Западной Сибири. К 1830 г. город занимал второе место по числу купцов-гильдейцев среди западносибирских городов, а объём торговли достигал 7 млн рублей [10].

Развитие торговли стало важным фактором промышленного роста региона. В первой половине XIX века в Петропавловске возникли предприятия по переработке животноводческой продукции, кожевенные, мыловаренные и кирпичные заводы. Наиболее крупным являлся салотопенный завод купца Ф. Зенкова, ежегодно перерабатывавший до 15,5 тыс. пудов сырья [19, с. 177].

Проведённый анализ показывает, что линейная торговля выполняла не только экономические, но и важные политические функции. Созданная сеть торговых пунктов способствовала укреплению российского присутствия в степном регионе, расширению хозяйственных связей и формированию устойчивой зависимости кочевого населения от поставок российских товаров.

Материалы исследования свидетельствуют о том, что торговля являлась одним из ключевых инструментов интеграции северного региона Казахстана в общеимперское экономическое пространство. Через систему крепостей осуществлялось регулирование товарных потоков, контроль за перемещением населения и распространение новых хозяйственных практик.

Одновременно торговая политика Российской империи была направлена на обеспечение собственных экономических интересов. Контроль над торговыми маршрутами, таможенными поступлениями и ценовой политикой позволял государству укреплять своё влияние в регионе. В результате торгово-экономические отношения стали важным элементом колонизационной политики, сочетавшей военное присутствие с экономическими механизмами воздействия на местное население.

Заключение. Проведённое исследование позволило выявить основные особенности развития линейной торговли в северном регионе Казахстана во второй половине XVIII века и определить её место в системе российско-казахских отношений рассматриваемого периода.

Установлено, что формирование сети пограничных торговых центров было тесно связано с процессом военно-политического продвижения Российской империи в казахскую степь. Создание Оренбургского, Троицкого, Петропавловского и Пресногорьковского меновых дворов обеспечило не только экономическое функционирование укреплённых линий, но и способствовало расширению хозяйственных связей между российскими приграничными территориями и казахским населением.

Анализ архивных материалов и опубликованных источников показал, что линейная торговля являлась важным инструментом государственной политики. Через систему пограничных крепостей осуществлялись контроль товарооборота, регулирование торговых отношений, взимание таможенных сборов и укрепление политического влияния Российской империи в регионе. Особое значение в этом процессе имели Троицкий и Петропавловский торговые центры, которые постепенно превратились в крупнейшие узлы обмена между Россией, Казахстаном и государствами Центральной Азии.

Исследование показало, что торговые отношения способствовали вовлечению казахского населения в общеимперское экономическое пространство. Расширение ассортимента ввозимых товаров, развитие менового обмена и увеличение объёмов товарооборота стимулировали трансформацию традиционных хозяйственных практик и усиливали экономические контакты между степью и приграничными районами Российской империи.

Вместе с тем выявлено, что торговая политика имперской администрации носила двойственный характер. С одной стороны, она создавала условия для развития хозяйственных связей и роста региональной экономики, с другой – обеспечивала реализацию колониальных интересов государства посредством контроля над торговыми потоками, ценовой политикой и деятельностью участников торговли. Значительная часть экономических выгод концентрировалась в руках российских купцов и государства, тогда как меновой характер торговли зачастую приводил к неэквивалентному обмену.

Установлено также, что развитие линейной торговли оказало существенное влияние на формирование городской экономики северного Казахстана. Рост товарооборота способствовал превращению Петропавловска из военной крепости в крупный торгово-промышленный центр, стимулировал развитие ярмарочной торговли, предпринимательства и перерабатывающих производств.

Таким образом, линейная торговля во второй половине XVIII века выступала не только важным экономическим механизмом взаимодействия между Россией и казахской степью, но и эффективным инструментом интеграции северного региона Казахстана в политическое и хозяйственное пространство Российской империи. Её развитие стало одним из ключевых факторов экономического освоения региона и укрепления здесь имперского влияния.

ЛИТЕРАТУРА:

1 Гельмгольц Ф. Оренбургский меновой двор [Текст] / Ф. Гельмгольц // Известия Оренбургского отдела Императорского Русского географического общества. – Оренбург, 1894. – Вып. 3. – 71 с.

- 2 Витевский В.Н. Неплюев и Оренбургский край до 1758 года [Текст] / В.Н. Витевский. – Казань, 1890. – 974 с.
- 3 Гегемейстер Ю.А. Статистическое описание Сибири. Ч. 2 [Текст] / Ю.А. Гегемейстер. – СПб., 1854. – 323 с.
- 4 Завалишин И. Описание Западной Сибири [Текст] / И. Завалишин. – М.: Общество распространения полезных книг, 1867. – 342 с.
- 5 Казахско-русские отношения в XVIII-XIX веках (1771-1867 годы) [Текст]: сборник документов и материалов. – Алма-Ата: Наука, 1964. – 576 с.
- 6 Казахско-русские отношения в XVI-XVIII вв. [Текст]: сборник документов и материалов. – Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1961. – 740 с.
- 7 Шотанова Г.А., Ужкенов Е.М. Западный Казахстан в XIX веке: торговля как инструмент региональной колонизации [Текст] / Г.А. Шотанова, Е.М. Ужкенов // Отан тарихы. – 2024. – Т. 27, №3. – С. 801-813. DOI: https://doi.org/10.51943/2788-9718_2024_27_3_801-813.
- 8 Бейсембаева А.Р. Некоторые аспекты торгово-экономических связей Казахского ханства (вторая половина XV-первая половина XVIII вв.) [Текст] / А.Р. Бейсембаева // Отан тарихы. – 2024. – Т. 27, №1. – С. 65-78. DOI: https://doi.org/10.51943/2788-9718_2024_27_1_65-78.
- 9 Абдрахманов К.А. Российско-азиатские торговые караваны XVIII-XIX вв.: особенности организации и дорожная повседневность [Текст] / К.А. Абдрахманов // Самарский научный вестник. – 2023. – Т. 12, №2. – С. 155-163, DOI: <https://doi.org/10.55355/snv2023122205>.
- 10 Leckey C. From Frontier to Borderland: Border Actors in Orenburg Province, 1735-75 [Text] / C. Leckey // Vivliofika: E-Journal of Eighteenth-Century Russian Studies. – 2022. – Vol. 10. – P. 141-161. DOI: <https://doi.org/10.21900/j.vivliofika.v10.1149>.
- 11 Sultangalieva G.S. Tatar Officials in the Orenburg Governorate's Chancellery: Their Activities on the Kazakh Steppe (Second Half of the Eighteenth Century) [Text] / G.S. Sultangalieva // Russian Studies in History. – 2020. – Vol. 59. – Iss. 4. – P. 310-329. DOI: <https://doi.org/10.1080/10611983.2021.2014760>.
- 12 Федорова А.В. Этнические и административные границы: от конфликтности к стабильности (на примере Оренбуржья XVIII-XIX веков) / [Текст] // Самарский научный вестник. – 2018. – Т. 7, №4. – С. 236-240. DOI: <https://doi.org/10.17816/snv201874213>.
- 13 ГАОО (Государственный архив Омской области Российской Федерации). Ф. 1. Оп. 1. Д. 61. Л. 149-150.
- 14 ГАОО. Ф. 1. Оп. 1. Д. 72. Л. 605-606.
- 15 ГАОО. Ф. 1. Оп. 1. Д. 87. Л. 180-183.
- 16 ГАОО. Ф. 3. Оп. 1. Д. 2764. Л. 763.
- 17 Адрес-календарь и памятная книга Оренбургской губернии на 1895 год [Текст]. – Оренбург: Губернская типография, 1894. – 168 с.
- 18 Туманшин К.М. История развития Петропавловска и его уезда [Текст]: автореф. дис. ... канд. ист. наук / К.М. Туманшин. – Алма-Ата, 1960. – 24 с.
- 19 Шалгимбеков А.Б. История военного продвижения и закрепления Российской империи в северном регионе Казахстана (вторая половина XVIII – первая треть XIX в.) [Текст]: автореф. дис. ... канд. ист. наук / А.Б. Шалгимбеков. – Семей, 2010. – 25 с.

REFERENCES:

- 1 Gelmgolc F. Orenburgskij menovoj dvor [Orenburg exchange yard]. *Izvestiya Orenburgskogo otdela Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshhestva*, Orenburg, 1894, iss. 3, 71 p. (In Russian)
- 2 Vitevskij V.N. Neplyuev i Orenburgskij kraj do 1758 goda [Nepliyuev and the Orenburg Region before 1758]. Kazan, 1890, 974 p. (In Russian)
- 3 Gagemejster Yu.A. Statisticheskoe opisanie Sibiri [Statistical description of Siberia]. Saint Petersburg, 1854, part 2, 323 p. (In Russian)
- 4 Zavalishin I. Opisanie Zapadnoj Sibiri [Description of Western Siberia]. Moscow, Obshhestvo rasprostraneniya poleznykh knig, 1867, 342 p. (In Russian)
- 5 Kazahsko-russkie otnosheniya v XVIII-XIX vekah (1771-1867 gody) [Kazakh-Russian relations in the 18th-19th centuries (1771-1867)]. Alma-Ata, Nauka, 1964, 576 p. (In Russian)
- 6 Kazahsko-russkie otnosheniya v XVI-XVIII vv. [Kazakh-Russian relations in the 16th-18th centuries], Alma-Ata, Izdatel'stvo AN KazSSR, 1961, 740 p. (In Russian)
- 7 Shotanova G.A., Uzhkenov E.M. Zapadnyj Kazahstan v XIX veke: trgovlya kak instrument regional'noj kolonizacii [Western Kazakhstan in the XIX century: trade as an instrument of regional colonization]. *Otan tarihy*, 2024, vol. 27, no 3, pp. 801-813. https://doi.org/10.51943/2788-9718_2024_27_3_801-813 (In Russian)
- 8 Bejsembaeva A.R. Nekotory'e aspekty' trgovovo-e'konomicheskikh svyazej Kazahskogo hanstva (vtoraya polovina XV-pervaya polovina XVIII vv.) [Some aspects of trade and economic relations

of the Kazakh Khanate (second half of the XV – first half of the XVIII centuries)]. *Otan tarihi*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 65-78. https://doi.org/10.51943/2788-9718_2024_27_1_65-78. (In Russian)

9 **Abdrahmanov K.A. Rossijsko-aziatskie torgovy'e karavany' XVIII-XIX vv.: osobennosti organizacii i dorozhnaya povsednevnost'** [Russian-Asian trade caravans of the 18th–19th centuries: features of organization and everyday life on the road]. *Samarskij nauchnyj vestnik*, 2023, vol. 12, no. 2, pp. 155-163. <https://doi.org/10.55355/snv2023122205>. (In Russian)

10 **Leckey C. From frontier to borderland: Border actors in Orenburg province, 1735-75.** *Vivliofika, E-Journal of Eighteenth-Century Russian Studies*, 2022, vol. 10, pp. 141-161. <https://doi.org/10.21900/j.vivliofika.v10.1149>.

11 **Sultangalieva G.S. Tatar officials in the Orenburg governorate's chancellery: Their Activities on the Kazakh steppe (Second Half of the Eighteenth Century).** *Russian Studies in History*, 2020, vol. 59(4), pp. 310-329. <https://doi.org/10.1080/10611983.2021.2014760>.

12 **Fedorova A.V. E'tnicheskie i administrativny'e granicy': ot konfliktnosti k stabil'nosti (na primere Orenburzh'ya XVIII-XIX vekov)** [Ethnic and administrative borders: from conflict to stability (on the example of Orenburg Region in XVIII-XIX centuries)]. *Samarskij nauchnyj vestnik*, 2018, vol. 7, no. 4, pp. 236-240. <https://doi.org/10.17816/snv201874213>. (In Russian)

13 **GAOO (Gosudarstvennyj arhiv Omskoj oblasti)** [State Archive of Omsk Region]. F. 1. Inv. 1. F. 61. sh. 149-150. (In Russian)

14 **GAOO** [State Archive of Omsk Region]. F. 1. Inv. 1. F. 72. sh. 605-606. (In Russian)

15 **GAOO** [State Archive of Omsk Region]. F. 1. Inv. 1. F. 87. sh. 180-183. (In Russian)

16 **GAOO** [State Archive of Omsk Region]. F. 3. Inv. 1. F. 2764. sh. 763. (In Russian)

17 **Adres-kalendar' i pamyatnaya kniga Orenburgskoj gubernii na 1895 god** [Address-calendar and memorial book of Orenburg province for 1895]. Orenburg, Gubernskaya Tipografiya, 1894, 168 p. (In Russian)

18 **Tumanshin K.M. Istoriya razvitiya Petropavlovskaya i ego uezda** [History of the development of Petropavlovsk and its district]. Abstract of PhD thesis, Alma-Ata, 1960, 24 p. (In Russian)

19 **Shalgimbekov A.B. Istoriya voennogo prodvizheniya i zakrepleniya Rossijskoj imperii v severnom regione Kazakhstana (vtoraya polovina XVIII-pervaya tret' XIX v.)** [History of the military expansion and consolidation of the Russian Empire in Northern Kazakhstan (second half of the 18th-first third of the 19th century)]. Abstract of PhD thesis, Semey, 2010, 25 p. (In Russian)

Сведения об авторах:

*Шалгимбеков Айбек Батырханович** – кандидат исторических наук, ассоциированный профессор кафедры истории Казахстана, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, 111000 Костанайская обл., Костанайский р-он, г. Тобыл, ул. Дорожная, 57, тел.: 87058755480, e-mail: salykovaks@mail.ru.

Гуляев Иван Иванович – кандидат философских наук, доцент экономического факультета Белгородского государственного аграрного университета имени В.Я. Горина, Российская Федерация, 308504 Белгородская обл., Белгородский р-он, п. Таврово-8, ул. Пейзажная 36, тел.: 89066026847, e-mail: ivgul@mail.ru.

*Шалгимбеков Айбек Батырханұлы** – тарих ғылымдарының кандидаты, Қазақстан тарихы кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, 111000 Қостанай обл., Қостанай ауд., Тобыл қ., Дорожный көш., 57 үй, тел.: 87058755480, e-mail: salykovaks@mail.ru.

Гуляев Иван Иванович – философия ғылымдарының кандидаты, экономика факультетінің доценті, В.Я. Горин атындағы Белгород мемлекеттік аграрлық университеті, Ресей Федерациясы, 308504, Белгород обл., Белгород ауд., Таврово-8 кенті, Пейзажная көш., 36 үй, тел.: 89066026847, e-mail: ivgul@mail.ru.

*Shalgimbekov Aibek Batyrkhanovich** – Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, Department of history of Kazakhstan, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay district, Kostanay region, 111100, Tobyl, 57 Dorozhnaya Str., tel.: 87058755480, e-mail: salykovaks@mail.ru.

Gulyaev Ivan Ivanovich – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor, Faculty of economics, V.Ya. Gorin Belgorod State Agrarian University, Russian Federation, 308504, Belgorod district, Belgorod Region, Tavrovo-8, 36 Peizazhnaya Str., tel.: 89066026847, e-mail: ivgul@mail.ru.

IRSTI 16.21.33

UDC 81'1-13:1:008

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621263>

NATIONAL-CULTURAL CODE IN THE LINGUISTIC PARADIGM

Sergienko N.A. – Doctor of Philological Sciences, Head of the Department of foreign languages, Surgut State University, Surgut, Russian Federation.*

Sitnikova A.Yu. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of foreign languages, Surgut State University, Surgut, Russian Federation.

This academic paper concentrates on a comprehensive examination of the problematic aspects of cultural code as a phenomenon. It also addresses the classification and categorization of various types of cultural codes, as well as the distinctive features of national-cultural codes within the framework of the modern linguistic paradigm of scholarly understanding. The article undertakes the task of refining and specifying the definitions of the aforementioned concepts, which facilitates a more precise determination of their conceptual boundaries and functional peculiarities.

Particular emphasis is placed on substantiating the fundamental significance of investigating national-cultural codes as they relate to such a multinational and polycentric linguistic phenomenon as the English language in its contemporary global functioning. The exploration of national-cultural codes is motivated and driven by several substantial scholarly factors and compelling circumstances.

This scholarly article focuses on considerable importance in undertaking investigations into the domain of interrelationships between the universal component (common to all humanity) and the particular element (nationally-specific and distinctive) within the linguistic and conceptual representation of the surrounding world. This also extends to the discursive practices employed by representatives of diverse national linguistic and cultural communities functioning within the framework of the multinational and multivariate phenomenon of the English language.

Keywords: *cultural code, typology, national values, national-cultural code, English language, polynationality, conceptual system.*

ЛИНГВИСТИКАЛЫҚ ПАРАДИГМАДАҒЫ ҰЛТТЫҚ-МӘДЕНИЕТТІК КОДЫ

Сергиенко Н.А. – филология ғылымдарының докторы, Шетел тілдері кафедрасының меңгерушісі, Сургут мемлекеттік университеті, Сургут, Ресей Федерациясы.*

Ситникова А.Ю. – педагогика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Шетел тілдері кафедрасы, Сургут мемлекеттік университеті, Сургут, Ресей Федерациясы.

Бұл ғылыми жұмыста мәдени кодтың феномен ретіндегі күрделі әрі өзекті қырлары жан-жақты талданады, мәдени кодтардың әртүрлі түрлерін жіктеу мен санаттарға бөлу мәселелері қарастырылады, сондай-ақ қазіргі тілтанымдық парадигма аясындағы ұлттық-мәдени кодтардың айрықша белгілері зерттеледі. Зерттеу аталған ұғымдардың анықтамаларын нақтылап, мазмұнын айқындауды мақсат етеді. Бұл олардың ұғымдық шекараларын дәлірек белгілеуге және қызметтік ерекшеліктерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Мақалада қазіргі жаһандық кеңістікте қолданыс тапқан ағылшын тілі секілді көпұлтты әрі полицентрлік тілдік құбылыспен сабақтастықтағы ұлттық-мәдени кодтарды зерттеудің іргелі маңызына ерекше назар аударылады. Ұлттық-мәдени кодтарды зерделеу бірқатар маңызды ғылыми факторлар мен объективті алғышарттарға негізделеді әрі солардың ықпалымен дамиды.

Ғылыми мақала қоршаған әлемнің тілдік және концептуалдық бейнесінде көрініс табатын жалпыадамзаттық әмбебап компонент пен ұлттық ерекшелікті білдіретін дара компоненттің өзара байланыстарын зерттеудің маңыздылығын алдыңғы қатарға қояды. Сонымен бірге бұл мәселе көпұлтты әрі көпнұсқалы құбылыс болып саналатын ағылшын тілі жүйесі аясында қызмет ететін әртүрлі ұлттық тілдік-мәдени қауымдастықтар өкілдерінің дискурстық тәжірибелеріне де қатысты қарастырылады.

Түйінді сөздер: *мәдени код, типология, ұлттық құндылықтар, ұлттық-мәдени код, ағылшын тілі, көпұлтты тіл, концептуалдық жүйе.*

НАЦИОНАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫЙ КОД В ЯЗЫКОВОЙ ПАРАДИГМЕ

Сергиенко Н.А. – доктор филологических наук, заведующий кафедрой иностранных языков, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация.*

Ситникова А.Ю. – кандидат педагогических наук, доцент, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация.

В данной научной работе проводится всесторонний анализ проблемных аспектов культурного кода как феномена, рассматриваются классификация и категоризация различных типов культурных кодов, а также исследуются отличительные характеристики национально-культурных кодов в контексте современной лингвистической парадигмы научного познания. Работа ставит перед собой задачу уточнения и конкретизации определений вышеупомянутых понятий, что способствует более точному установлению их концептуальных границ и функциональных особенностей.

Особое внимание уделяется обоснованию фундаментального значения исследования национально-культурных кодов в их связи с таким многонациональным и полицентрическим языковым феноменом, как английский язык в его современном глобальном функционировании. Изучение национально-культурных кодов обусловлено и стимулируется рядом существенных научных факторов и определенных обстоятельств.

Данная научная статья акцентирует внимание на значительной важности проведения научных исследований в области взаимосвязей между универсальным компонентом (общим для всего человечества) и частным элементом (национально-специфическим) в языковом и концептуальном представлении окружающего мира. Это также распространяется на дискурсивные практики, применяемые представителями различных национальных языковых и культурных сообществ, функционирующих в рамках системы полинационального, многовариантного феномена – английского языка.

Ключевые слова: культурный код, типология, национальные ценности, национально-культурный код, английский язык, многонациональность, концептуальная система.

Introduction. Over the past decades, the anthropological paradigm in linguistics and linguoculturology have achieved considerable development in the research of modern scholars, both domestic (O.S. Kubryakova (2004), V.A. Maslova (1997, 2004), R.M. Frumkina (1995), V.M. Teliya (1996), V.V. Krasnykh (2002) and foreign (A. Wierzbicka (1997, 2001), E. Rosch Heider (1975), Garry Chick (2001) and others). The person's place in the culture is the focus of research for cultural traditions of various national-linguocultural communities (term by V.V. Krasnykh [1, p. 17]). Thus, a person in culture and language in culture are among the main directions in modern linguistic studies, one of the goals is to investigate the interaction between language and culture, namely "manifestations of people's culture that have been reflected and fixed in language" [2, p. 8].

The aim of this article is to study the issue of cultural code and national-cultural code in the modern linguistic paradigm of knowledge. The work includes **the following tasks:** defining the concepts of "code," "cultural code," "national-cultural code" (and its significance for studying polynational English), as well as the typology of cultural codes that are identified in modern linguistic studies. In the modern linguistic paradigm, the code is studied by scholars from different perspectives. But the concept of national-cultural code was not discussed, nor was it the object of study in modern linguistics, which emphasized the **relevance of our study.**

Materials and methods

The concept of the "code". The terminology of "code" within the field of linguistics, and more specifically within the discipline of semiotics, was originally proposed and put forward by Ferdinand de Saussure during the early decades of the twentieth century. At that time, Saussure employed this term as an equivalent or synonymous expression for the notion of "language" (referred to in French as "langue"). The subsequent scholarly investigation of this phenomenon, along with the systematic advancement and elaboration of code theory as a comprehensive theoretical framework, is attributed to the contributions of the Italian academic and theorist Umberto Eco.

The recurrence of this concept in the modern paradigm of scientific knowledge is quite broad and has various interpretations. In semantic dictionaries, various definitions are mainly the same: code (French code) – "a set of signs (symbols) and a system of signing rules, with the help of which information can be presented (encoded) as a set of such symbols for transmission, processing, and storage. The sequence of code signs is called a word. Most often, letters, numbers, and symbols are used for coding information" [3]. The notion of code additionally designates and characterizes a framework of mental cognitive processes and mechanisms that individuals employ and utilize when encoding communicative messages and information. When examined from this particular theoretical perspective and analytical standpoint, code is represented and manifested through a coding mechanism or systematic code structure, which is composed of and organized into hierarchical levels consisting of a macrocode (the overarching, broad-level code system) and various subcodes (subsidiary, more specific coding subsystems that function within the larger framework).

The concept of "cultural code". The Belarusian researcher V.A. Maslova asserts that "conceptual understanding of culture is only possible through natural language, since language is a phenomenon of cultural order, and consideration and understanding of the foundations of culture (literature, science, religion, etc.) must be studied as codes that are formed similarly to natural language" [2, p. 37]. In addition to language representing a way of cultural existence, it is also a factor in the formation of cultural codes [2, p. 8]. Addressing the issue of cultural codes, modern foreign and Russian scholars offer several definitions of the cultural code phenomenon.

The cultural code is a key to understanding the type of culture; the existence of signs (symbols) and meanings (their combinations), which are placed in the objects of material and spiritual activity of the individual

[4]; the code of culture is a "fragment of natural movement, which represents the measure of membership, categorization, the view of the interiorized world of the inner world of the people, imbued with the culture of the singing ethnos, represented in the semiotic systems of natural movement, mysticism, rituals, beliefs, as well as in the norms of morality, behaviour of members of the ethnic community" [5, p. 248].

Cultural codes are universal, but they are quite specific in the surrounding cultures. Cultural codes are profoundly interwoven and intricately connected with ancient, primordial archetypal discoveries and foundational insights of humanity. The code of culture comprises and embodies representations of the totality of mentality – the comprehensive mental and cognitive framework—which generates and constructs specific fragments or segments of the overall picture of the world. This framework is intrinsically linked and associated with culturally endowed meanings, senses, and phenomena that belong to, relate to, or are categorized within one particular type, domain, or sphere of human life and existence [6, p. 64]. "The names of the latter carry, additionally, to the main significance, which reflect the power of the named phenomena, functionally significant for the culture of meaning (V.M. Telia), which involves their functioning as metaphors, symbols of the figurative basis of metaphors, and allows them themselves to consider the unit of the language of cultural signs, which provides these names with the role of linguocultural signs" [6, p. 64].

"The code of culture is the 'net' imposed by culture upon the surrounding world, which segments, categorizes, structures, and evaluates it." In cultural codes, ancient archetypes of the emergence of musical language are manifested, meaning that cultural codes "encode" such occurrences. The code of culture has a universal character and power as a representative of homo sapiens. The distinctive character and exceptional nature of the cultural code are evident in its expressions and manifestations within musical culture, as well as through the metaphorical constructions in which it finds realization and embodiment. These metaphorical expressions invariably possess national determination and maintain associations with particular cultural contexts [1, p. 232].

Results and discussion. Cultural code may be understood and interpreted as "hidden" or "encrypted" informational content that operates and serves as the fundamental key, essential instrument, or deciphering mechanism for understanding and interpreting the perception, comprehension, and reception of culture within a particular linguistic community or speech group [7, p. 505]. The scholar S.M. Tolstaya offers a particular characterization of the cultural code, emphasizing its substantial nature and noting that homogeneity and systematicity in relation to this type of code possess an entirely different character and quality. This distinctiveness is manifested in the fact that the "substance" or essential content of such a code comprises not merely the objects and phenomena directly connected to it, but also encompasses the mental images, cognitive representations, contemporary designations, established stereotypes, and associative connotations linked to these objects of cultural texts" [8, p. 28-29].

V.A. Maslova defines the cultural code as follows: "The measure of universal and nationally specific phenomena that shapes the national picture of the world, the repertoire of signals, and the method of structuring cultural knowledge" [9, p. 20]; it also indicates that the code is formed and functions in culture [9, c. 19]. D.B. Gudkov and M.L. Kovshova understand the code of culture as a system of signs (sign languages) of the material and spiritual world, which have become carriers of cultural meanings. [10, p. 9]. Linguocultural codes, being an identification characteristic of an ethnos, function in everyday communication and form images of the individual's life space, thanks to which it perceives and interprets reality. As a result, various processes are observed, and the created images modify and transform the individual themselves (in their consciousness and behaviour), and in general, the people, nation, and ethnos

Human beings are characterized and defined by the informational environment that surrounds them – that is, by the objects, phenomena, and symbolic elements within which information is encoded and embedded. This informational environment or space is designated as culture, which is constructed through signs and symbolic systems endowed with a semiotic function within communicative processes". Within the discipline of cultural semiotics, the comprehensive system composed of multiple robust subsystems is referred to as cultural codes. Cultural code is conceptualized as "a methodology or mechanism for preserving and transmitting information, representing a particular type of cultural memory belonging to a specific linguocultural community," and simultaneously as a system of signs that exists and operates within any cultural subject or domain. Additional scholars and researchers interpret this phenomenon as a systematic arrangement of symbols that enables and facilitates the transmission, storage, retention, and processing of cultural information.

A particularly noteworthy and distinctive interpretation of cultural code comes from the French psychologist Clotaire Rapaille, who characterizes the cultural code as "the unconscious meaning attributed to any particular thing, person, or concept [...] within the framework of a culture that possesses its own distinctive characteristics" [11, p. 7]. According to this perspective, a code represents a value or significance that is unconsciously assigned to a specific phenomenon unique to each particular linguistic community. A multitude of fundamental reasons, underlying causes, and motivational forces continue to remain hidden, obscured, and embedded within the depths of the cultural unconscious [11, p. 7]. These concealed elements exist and manifest themselves in the form of distinctive, unique, and specific characteristics and aspects of national culture. Such culturally-specific features are conveyed, transmitted, and handed down from ancestral predecessors and forebears through consecutive and successive generations of particular national-linguistic-cultural communities and groups.

It is evident that there exists an indissoluble and fundamental connection between the emotional and behavioural characteristics of an individual and the national culture within which that individual develops, matures, and resides. Just as psychological processes and mental activities (formed and shaped from early developmental stages) are culturally determined, so too are human actions and behavioural patterns (the motivations underlying individual conduct and decision-making) deeply rooted in the cultural foundations of the nation and state to which the individual belongs [11, p. 7].

Consequently, when considering the universal nature and common humanity shared by all people across the globe, the phenomenon of "cultural unconscious" (according to Clotaire Rapaille's theoretical framework) and those cultural codes that exhibit variation and differentiation across distinct national-linguistic-cultural communities necessitate thorough and systematic investigation within the contemporary paradigm of linguistic scholarship and knowledge.

However, under the influence of external factors, such as exposure to other cultures, cultural codes can undergo transformation and "reinterpretation." The author of the monograph provides an illustrative example involving the introduction and application of the concept of "coffee" within Japanese linguoculture. Initially, this concept held virtually no significance for representatives of this linguocultural community—it was perceived merely as "an empty sound" or meaningless term devoid of cultural relevance.

Cultural codes within the representative languages of diverse cultures are fundamentally based upon and anchored in the concepts of "mental-emotional" and "sensory-figurative" relationships or links that exist between the domains of "knowledge" and "cultural representatives." When such connections and associations are established through positive experiences and favourable impressions, according to Clotaire Rapaille's theoretical framework, these connections become firmly fixed and embedded within the (linguistic) recipient culture. This fixation reflects and demonstrates the importance, value, and significance that a particular cultural concept holds for the given nation or linguocultural community. These embedded connections themselves subsequently determine and exert influence upon the structural composition of the cultural code belonging to that national linguocultural community [11, p. 8-10].

When an individual's consciousness becomes engaged at a deep cognitive level and this engagement is reinforced and strengthened by an emotional connection with a particular concept borrowed or adopted from another, foreign culture, then the associated values, semantic images, and conceptual power of that other culture become established and consolidated. These elements remain intrinsically connected with the newly acquired foreign cultural concept that has been internalized and memorized [11, p. 8-10]. The representative or member of the recipient linguocultural community cognitively processes and integrates the borrowed linguocultural concept into their existing conceptual system – a system that was originally formed and shaped through the collective historical development and shared experiences of their own linguocultural community. Consequently, the conceptual system of the recipient linguocultural community's representatives undergoes transformation during the process of importing and incorporating external concepts. This transformative process can be observed and characterized as a "reinterpretation of linguocultural meanings" or a "reconfiguration of culturally embedded semantic content" [12, p. 6]. Through this mechanism, foreign concepts are not simply adopted wholesale but rather adapted, recontextualized, and integrated into the existing cultural-conceptual framework of the recipient community, creating hybrid or modified meanings that bridge both cultural systems.

Differences in cultural decline, historical past, advanced environment, socio-political activity, and state structure in other spheres of life are among the main differences in the conceptual picture of various linguistic societies: "modification of concepts is being carried out in accordance with cultural traditions and individual human characteristics" [12, p. 6]. The function of the linguocultural context is expressed in a discourse that functions with the help of which the concept of "incorporation" is imported into the linguocultural donor system [12, p. 7]. Due to the presence of the subject itself in the linguoculture, as well as the concept in its conceptosphere, the concept of linguoculture is observed, and its further form of development develops in discourse [12, p. 9].

The concept of cultural code receives multiple interpretations from different scholarly perspectives: it is characterized as a "network" or framework that culture employs for organizing and structuring the perception of objective reality (as proposed by V.V. Krasnykh); it serves as the essential key or mechanism for comprehending and decoding various manifestations and types of cultures (according to V.I. Kononenko); it represents the totality or aggregate of intellectual constructs and cognitive schemas that collectively shape and form the worldview or picture of the world (V.V. Krasnykh); it constitutes encrypted or concealed information that functions as the key to understanding and interpreting culture (as stated by Yu.R. Remaeva); it embodies a collection of universal elements combined with unique, singular, specific phenomena that jointly create and establish the national picture of the world (V.A. Maslova); and it operates as a comprehensive system of signs belonging to both the spiritual and material dimensions of existence, serving as a carrier and representative of cultural meanings and significance (D.B. Gudkov and M.L. Kovshova).

The fundamental and defining characteristics of cultural codes consist of their universality (qualities shared across human cultures) and their uniqueness or national specificity (distinctive features particular to individual cultural communities). Building upon and drawing from the symbiotic relationship and integration of universal and nationally-specific deterministic characteristics, V.A. Maslova provides a comprehensive definition of cultural code as the stratum or level encompassing both universal and nationally-specific phenomena

that collectively shape, form, and constitute the national picture of the world belonging to a particular national-linguocultural community [9, p. 20].

Types of cultural codes. When examining and investigating the cultural codes belonging to surrounding cultures, scientists and scholars identify and distinguish the following basic or fundamental code types: somatic (relating to the human body), spatial (pertaining to space and location), temporal (connected to time perception), object-based or material (concerning physical objects and things), biomorphic (involving living organisms and natural forms), and spiritual (relating to metaphysical and transcendent dimensions) [234]. A comprehensive account and detailed description of these cultural codes is presented and elaborated upon in the scholarly work of V.V. Krasnykh [1, p. 233-254].

V.M. Manakin supported the point of view on the diffusion of cultural codes, stating that "through imminent globalization processes, the mixing of cultural codes and values and the creation of new versions of cultural codes, in which, if there are foreign values, they are found in the power of national norms, penetrating into the world of the world [...] generation" [13, p. 238]. In the modern world, one of the processes of globalization, as well as the interaction of cultures, is the mutual penetration of various types of cultural codes [13, p. 238].

D.B. Gudkov and M.L. Kovshova distinguish such types of cultural codes as: anthropic (human), physical (somatic), spiritual religious-anthropological, religious-artifact, artifact-subject, object-costume, architectural, colour, timing, vast, quantitative, natural, zoomorphic, growing, gastronomic [10, p. 35]. Given that cultural codes preserve and fix collective manifestations and expressions, they constitute a universal phenomenon that is characteristic of and inherent to cultured and intellectually developed individuals and societies. According to the scholarly perspective of V.A. Maslova, culture itself represents an aggregate or collection of diverse codes, and these cultural codes collectively form a systematic framework or coordinate system that establishes and creates the standard, paradigm, or model of culture. Research investigations have identified and distinguished the following fundamental or basic cultural codes: cosmogonic (pertaining to the universe and its origins), somatic (related to the human body), spatial (concerning physical space and location), temporal (relating to time perception), object-based (connected to material things), zoomorphic (involving animal symbolism), natural-landscape (encompassing natural environmental features), architectural (relating to built structures), gastronomic (connected to food and culinary practices), olfactory (pertaining to scents and smells), and clothing codes [9, p. 20].

When examining and considering the code of culture in its continuous and unbroken connection with humanity's archetypal representations and primordial conceptions of the world, V.A. Maslova maintains and asserts that all dimensions and facets of human consciousness find reflection within the spiritual system. Undoubtedly and invariably, this system contains and embodies a unified totality, "intrinsically linked with archaic and archetypal structures of consciousness – namely, collective representations" [9, p. 20]. These collective representations constitute a specific portion or segment of the collective unconscious, and through this mechanism, such proto-structures and collective manifestations serve to transmit, convey, and transfer the accumulated cultural experience and wisdom of the nation across generations [9, p. 20].

The concept of "national-cultural code" and its significance for studying English. Culture is preserved in the consciousness of society/ethnos, fixed in the language, manifested in the consciousness of the individual's behaviour, and also "realizes in discourse, motivating the national-cultural specificity of the rest" [1, p. 231]. National-cultural codes are recorded in the official records of representatives of a particular national-linguistic-cultural community, and their national culture is also reflected in discourse.

It is demonstrated in our practical research that the cultural code depends on the evolution and modification of the culture of this second linguocultural community. Since the genesis of the evolution of the skin nation and the state varies in its own way, the cultural code of the nation differs significantly and is unique, self-sufficient, nationally specific, and culturally unique [11, p. 8-10]. Thus, the national-cultural code continues to change simultaneously from cultural, social, economic, political, and other modifications in the linguocultural community. The national code establishes "the highest general level of cultural self-identification" [14, p. 360].

Modern linguistic research conducted within the framework of the aforementioned approaches is characterized by the assertion of an anthropocentric dominance - scholars are turning to the examination of language in correlation with the national-cultural sphere of its existence. This approach in the present study is implemented through the integration of cognitive linguistics and linguoculturology, which has made it possible to study the processes of interaction and interconnection between national languages and cultures through the lens of cognitive analysis of their formation, with a focus on systems of national-cultural values and the peculiarities of human thought. [15, p. 325]

The national-cultural code consists of unique specific elements of the national culture, which are passed down from generation to generation of the national-linguistic-cultural community. Thus, the national-cultural code continues to change simultaneously from cultural, linguistic, social, economic, political, and other modifications in the linguocultural community. The national-cultural code of representation with its own informational matrix, which is a breakdown of the ways of spinning the world: thinking and understanding, evaluating and structuring, membership and categorization, as well as the conceptualization of the song's linguocultural context, which is "encrypted/encoded" in the "cultural unknown" of a particular cultural community member. The national-cultural code is the essence of the nationally specific, formed in the national

picture of the world, aimed at "genetic memory of the people" (terms of V.A. Maslova [9, p. 25]), which functions in its culture.

Thus, the national-cultural code is the key to the interpretation of a national cultural unconventionality, as the concepts that shape it most vividly manifest themselves in the national consciousness of its inner linguocultural community. The national-cultural code is unique, encoded in the linguistic system and culture of the ethnic group, information that represents national symbols, stereotypes, and archetypes, that is, everything that differs from specific national-cultural developments, through which it is possible to identify that particular national-linguistic community.

If the cultural code "encrypts" the ancient archetypes of the emergence of the musical ethnos (V.V. Krasnykh), then the cultural code of the nation is the key to understanding the worldview, world perception and worldview of the musical language, its behavioural characteristics, psychological postulates, and cultural specifics. Unlike cultural codes, national-cultural codes, being deeply specific, self-contained, unique, with their full-fledged minds of social existence, as they acquire the character of universal cultural ones, remain culturally unique and unrepeatable in their own kind.

The necessity of studying the national-cultural code is emphasized by such scholars as: the analysis of the form of national-cultural codes as the main representatives of the conceptual and national-specific picture of the world in the world of English speakers in various linguistic regions of the world (native American, Australian-New Zealand, Asian and South African), as well as the study of the problem of the interrelationship of the universal (national-specific characteristics) of the unique (national-specific rice) in the lingual and conceptual representation of the world and in the discursive practices of representatives of various national-linguistic communities.

Conclusions. Scholars interpret cultural code as a sign system, a system of symbols, whose main function is preservation, processing of information that contains cultural knowledge of linguistic community. The uniqueness of cultural code is defined as the primacy of individuality as a representative of homo sapiens, as well as the uniqueness and specificity of its manifestations in different cultures and linguistic systems.

National-cultural codes represent a system of values, standards, rules, and laws shaped by the surrounding nation in the process of its evolution and codification within its linguistic system of culture. The national-cultural code is a culturally marked information, on the basis of which one can reflect an indivisible relationship and interaction with the linguocultural environment and the world, as well as assimilation, integration and adaptation of the linguocultural system to the new conditions of the linguocultural area (for example, North American, Australian-New Zealand, Asian and South African).

The typology of cultural codes is diverse. The growth of a significant number of cultural code types is due to their diffuse penetration, as well as transformations in the process of imminent globalization and modification of cultural values. In any nation in the world, as well as in its representatives, the sensory-emotional activity of a person is "coloured" by the cultural-historical, socio-political, geographical, natural-landscape, and other characteristics of that linguocultural environment, in which they are integrated and assimilated. Everything works entirely in linguistic conceptual fields, as well as in discursive practices within the system of the polynational linguistic phenomenon – English language.

The prospects for further research of polynational English include the manifestation of general principles of organizing the conceptual space of multivariate English and the formation of national-cultural codes based on the study of cultural dominants / basic linguocultural concepts, which function in the conceptual system of modern polynational English language.

REFERENCES:

1. **Krasnykh V.V. E'tnopsiholingvistika i lingvokul'turologiya** [Ethnopsycholinguistics and linguoculturology]. Moscow, Gnozis, 2002, 284 p. (In Russian)
2. **Maslova V.A. Lingvokul'turologiya. Vvedenie** [Linguoculturology. Introduction]. Moscow, Urait, 2025, 208 p. (In Russian)
3. **Kononenko B.I. Bol'shoj tolkovyj slovar' po kul'turologii** [Great explanatory dictionary of cultural studies]. Moscow, Veche, AST, 2003, 511 p. (In Russian)
4. **Selivanova O.O. Lingvistichna encyklopediya** [Linguistic encyclopedia]. Poltava, Dovkillya, 2011, 844 p. (In Ukrainian)
5. **Krasnykh V.V. Osnovny'e postulaty i nekotory'e bazovy'e ponyatiya lingvokul'turologii** [General postulates and some basic concepts of linguoculturology]. Russkij yazyk za rubezhom, 2011, no. 4, pp. 60-66. (In Russian)
6. **Remaeva Ju.G. Yumor i satira v proizvedeniyakh S'yu Taunsend: poisk vy'razheniya nacional'ny'h kodov** [Humor and satire in Sue Townsend's works: the search for expression of national codes]. Nacional'ny'e kody v evropejskoj literature XIX–XXI vekov, 2016, pp. 501-508. (In Russian)
7. **Tolstaja S.M. K ponjatiju kul'turnyx kodov** [The concept of cultural codes]. Saint Petersburg, European University Press, 2007, pp. 23-31. (In Russian)
8. **Maslova V.A. Nacional'ny'e cennosti i yazyk: duhovnyj kod kul'tury** [National values and language: the spiritual code of culture]. Lingvistika, 2010, no. 2 (20), pp. 1-30. (In Russian)

9. **Gudkov D.B., Kovshova M.L. Telesny'j kod russskoj kul'tury': materialy' k slovarju** [Physical code of Russian culture: dictionary materials]. Moscow, Gnozis, 2007, 288 p. (In Russian)
10. **Rapaj K. Kul'turny'j kod** [Cultural code]. Moscow, United Press, 2010, 168 p. (In Russian)
11. **Novikova T.V. Zaimstvovanie lingvokul'turny'h konceptov (na materiale anglijskogo i russskogo yazykov)** [Borrowing of linguocultural concepts (based on English and Russian languages)]. Abstract of PhD thesis, Volgograd, 2005, 21 p. (In Russian)
12. **Manakin V.M. Mova i mizhkul'turna komunikaciya** [Language and Intercultural communication]. Kyiv, Akademia, 2012, 288 p. (In Ukrainian)
13. **Popova-Bondarenko I.A. Svoeobrazie interkodov v romane P. Zyuskinda «Das Parfum»** [The peculiarity of intercodes in P. Süskind's novel "Das Parfum"]. Nacional'ny'e kody' v evropejskoj literature XIX–XXI vekov, 2016, pp. 359–370. (In Russian)
14. **Sergienko N.A. Lingvomental'naya antroposfera kak faktor kategorizacii lingvokul'tur** [Linguomental anthroposphere as a factor in the categorization of linguocultures]. PhD thesis, Moscow, 2023, 411 p. (In Russian)
15. **Bol'shoj e'hnciklopedicheskij slovar'** [The Great encyclopedic dictionary]. Available at: <https://gufo.me/dict/bes/КОД>. (accessed 03 June 2026). (In Russian)

Information about the authors:

Sergienko Natalya Anatolyevna – Doctor of Philological Sciences, Head of the Department of foreign languages, Surgut State University, Russian Federation, 628412, Surgut, 1 Lenin Ave., tel.: 89128153055, e-mail: nas_surgut@mail.ru.

Sitnikova A.Yu. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of foreign languages, Surgut State University, Russian Federation, 628412, Surgut, 1 Lenin Ave., tel.: 89222546563, e-mail: sitnikova_surgu@mail.ru.

Сергиенко Наталья Анатольевна – филология ғылымдарының докторы, Шетел тілдері кафедрасының меңгерушісі, Сургут мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, 628412, Сургут қ., Ленин даңғ, 1, тел.: 89128153055, e-mail: nas_surgut@mail.ru.

Ситникова Анастасия Юрьевна – педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, Сургут мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы, 628412, Сургут қ., Ленин даңғ, 1, тел.: 89222546563, e-mail: sitnikova_surgu@mail.ru.

Сергиенко Наталья Анатольевна – доктор филологических наук, заведующий кафедрой иностранных языков, Сургутский государственный университет, Российская Федерация, 628412, г. Сургут, пр. Ленина, 1, тел.: 89128153055, e-mail: nas_surgut@mail.ru.

Ситникова Анастасия Юрьевна – кандидат педагогических наук, доцент, Сургутский государственный университет, Российская Федерация, 628412, г. Сургут, пр. Ленина, 1, тел.: 89222546563, e-mail: sitnikova_surgu@mail.ru.

МРНТИ 17.09.91

УДК 82-14

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621269>

ЕСЕНИН С.А. И ПОЭТИЧЕСКАЯ ТРАДИЦИЯ XX ВЕКА: ЛИНГВОСТИЛИСТИЧЕСКИЙ И КУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Сиригва М.А. – кандидат филологических наук, старший преподаватель кафедры филологии и практической лингвистики, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.*

В статье рассматриваются особенности поэтического мира С.А. Есенина, акцентируя внимание на эмоционально-семантической многослойности его лирики, а также на образно-стилистических средствах, формирующих уникальную художественную систему. Анализируются контрастные переживания, пронизывающие есенинскую поэзию – от ностальгической грусти по ушедшему детству до трагического осмысления исторических трансформаций. Особое внимание уделяется метафорическим и эпитетным конструкциям, диалектизмам, неологизмам и элементам разговорной речи, которые придают текстам поэта национальный колорит и эмоциональную достоверность.

В поэмах революционного периода, таких как «Анна Снегина» и «Клич Марии», прослеживается попытка поэта осмыслить судьбу России через призму личного опыта и народной мифологии. Есенин предстает как лирический субъект, находящийся на границе старого и нового мира, стремящийся к духовному постижению и художественному синтезу. Его поэтический стиль, основанный

на дольнике и насыщенный фольклорными элементами, отражает глубокую связь с народной речью и культурой.

Обобщая, можно утверждать, что творчество С.А. Есенина представляет собой синтез автобиографичности, философской рефлексии и художественного новаторства, формируя эмоционально-психологический портрет эпохи и оставаясь неотъемлемой частью национального литературного канона. В исследовании осуществлен анализ элементов, благодаря которым лирическое наследие поэта составляет образное представление о специфике современной ему эпохи и закладывает основы развития поэтического творчества в литературном процессе XX века.

Ключевые слова: С.А. Есенин, поэтический стиль, метафора, народная речь, автобиографичность, революционная поэзия, эмоционально-семантический анализ, художественный образ, национальная идентичность, философская лирика.

ЕСЕНИН С.А. ЖӘНЕ XX ҒАСЫРДЫҢ ПОЭТИКАЛЫҚ ДӘСТҮРІ: ЛИНГВОСТИЛИСТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ МӘДЕНИЕТТАНУЛЫҚ ТАЛДАУ

Сириуля М.А.* – филология ғылымдарының кандидаты, филология және практикалық лингвистика кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ, Қазақстан Республикасы

Бұл мақалада С.А. Есениннің поэзиялық әлемінің көркемдік ерекшеліктері жан-жақты қарастырылады. Ақын лирикасындағы эмоциялық-мағыналық күрделілік пен бейнелі-стилистикалық құралдар жүйесі талдана отырып, оның шығармашылық мұрасының көркемдік тұтастығы мен ұлттық болмысқа жақындығы ашылады. Есенин шығармаларында балалық шаққа деген сағыныштан бастап тарихи өзгерістерді трагедиялық қабылдауға дейінгі сезімдер спектрі байқалады. Метафоралар, авторлық эпитеттер, диалектизмдер, неологизмдер мен ауызекі сөйлеу элементтері поэзияға ұлттық бояу мен эмоциялық шынайылық береді.

Революциялық кезеңдегі «Анна Снегина» және «Марияның үндеулері» атты поэмаларында Есенин Ресейдің тағдырын жеке тәжірибе мен халықтық мифология тұрғысынан ұғынуға тырысады. Ол ескі мен жаңа әлемнің шекарасында тұрған лирикалық кейіпкер ретінде рухани таным мен көркемдік синтезге ұмтылады. Дольник өлшеміне негізделген және фольклорлық элементтермен байытылған поэтикалық стилі халықтық сөйлеу тілімен тығыз байланыста екенін көрсетеді.

Жалпы алғанда, С.А. Есениннің шығармашылығы автобиографиялық баяндау, философиялық рефлексия және көркемдік жаңашылдықтың синтезі ретінде сипатталады. Зерттеуде ақынның лирикалық мұрасы өз заманының ерекшеліктерін бейнелі түрде сипаттап, XX ғасырдағы әдеби үдерісте поэзиялық шығармашылықтың дамуына негіз қалайтын элементтерге талдау жасалды.

Түйінді сөздер: С.А. Есенин, поэзиялық стиль, метафора, халықтық сөйлеу тілі, автобиографиялық баяндау, революциялық поэзия, эмоциялық-мағыналық талдау, көркем бейне, ұлттық болмыс, философиялық лирика.

YESENIN S.A. AND THE POETIC TRADITION OF THE 20TH CENTURY: A LINGUOSTYLISTIC AND CULTURAL ANALYSIS

Sirivlya M.A.* – Candidate of Philological Sciences, Senior Lecturer, Department of philology and practical linguistics, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

This article explores the distinctive features of Sergey Yesenin's poetic universe, focusing on the emotional-semantic complexity of his lyricism and the figurative-stylistic devices that shape his unique artistic system. The analysis reveals a spectrum of contrasting experiences in Yesenin's poetry—from nostalgic melancholy for a lost childhood to a tragic reflection on historical upheavals. Particular attention is given to metaphorical constructions, authorial epithets, colloquial expressions, and neologisms, which contribute to the national color and emotional authenticity of his texts.

In his revolutionary period poems, such as *Anna Snegina* and *Maria's Cries*, Yesenin attempts to comprehend Russia's fate through a personal and mythological lens. The poet emerges as a lyrical subject situated between the old and the new world, striving for spiritual insight and artistic synthesis. His poetic style, rooted in *dolnik* meter and enriched with folkloric elements, reflects a deep connection to vernacular speech and cultural heritage.

Overall, Yesenin's work represents a synthesis of autobiographical narrative, philosophical reflection, and artistic innovation. It offers an emotionally charged portrait of a transformative era and remains an integral part of the national literary canon. The study analyzes the elements through which the poet's lyrical legacy offers an imaginative portrayal of the distinctive features of his contemporary era and lays the groundwork for the development of poetic creativity within the literary process of the 20th century.

Keywords: Sergey Yesenin, poetic style, metaphor, folk speech, autobiographical narrative, revolutionary poetry, emotional-semantic analysis, artistic imagery, national identity, philosophical lyricism.

Введение

В 2025 году исполняется 130 лет со дня рождения и 100 лет со дня смерти Сергея Александровича Есенина – поэта, чьё творчество стало неотъемлемой частью национального культурного кода. Эти юбилейные даты актуализируют необходимость нового научного осмысления его поэтического наследия, особенно в контексте современных гуманитарных исследований, ориентированных на междисциплинарный подход и культурную рефлексия.

Актуальность исследования обусловлена растущим интересом к поэтическому языку как инструменту выражения исторической памяти, национальной идентичности и личностной эмоциональности. Поэзия С.А. Есенина демонстрирует уникальное сочетание народной речевой традиции, философской рефлексии и художественного новаторства, что делает её ценным объектом литературоведческого и лингвостилистического анализа.

Цель работы – выявить структурные и смысловые особенности художественного мира С.А. Есенина, определить его вклад в развитие русской поэтической традиции и раскрыть механизмы эмоционального воздействия на читателя.

Задачи исследования включают:

- анализ метафорических, эпитетных и фразеологических конструкций;
- изучение лексических и синтаксических особенностей есенинского стиля;
- интерпретацию автобиографических и философских мотивов;
- рассмотрение революционных поэм в контексте культурной мифологии.

Суть научного исследования заключается в комплексном подходе к поэтическому тексту, сочетающем методы структурного анализа, дискурсивной лингвистики и культурологической интерпретации.

Научная значимость работы состоит в уточнении механизмов художественной выразительности и в расширении представлений о поэтической семантике в русской литературе XX века.

Практическая значимость результатов проявляется в возможности их применения в образовательной среде: при разработке учебных программ, литературных курсов, а также в культурно-просветительской деятельности, направленной на популяризацию наследия С.А. Есенина.

Методология исследования включает структурно-семантический анализ, элементы компаративистики, интертекстуальный подход и историко-культурный комментарий.

Основные результаты показывают, что поэтический язык Есенина – это синтез народной речи, философской глубины и эмоциональной искренности. Его творчество отражает ключевые мотивы русской поэзии: тоску по утраченной гармонии, любовь к родине, духовный поиск и трагизм исторических перемен.

Ценность исследования заключается в выявлении художественных и культурных механизмов, через которые поэзия С.А. Есенина формирует эмоционально-психологический портрет эпохи и продолжает влиять на современное литературное восприятие.

Материалы и методы

Изучение актуальных источников по теме работы позволило обнаружить несколько направлений в современном исследовании творчества поэта:

1. Эмоционально-образная выразительность.
2. Идеостиль и риторические приёмы.
3. Поэзия и музыкальная адаптация.
4. Биографический контекст и культурная мифология.

Анализ источников позволил обнаружить указанные ниже особенности.

Исследование Е.С. Тюриной «Лирический герой и детство поэта» [1] акцентирует внимание на эмоциональной насыщенности и образности поэзии С.А. Есенина. Автор выделяет ключевые средства художественной выразительности – метафоры, сравнения, олицетворения природы – как основу поэтического языка, способного передавать глубинные чувства и национальные архетипы.

В работе китайских исследователей Лю Л. и Мяо Х. «Специфика поэтического творчества С.А. Есенина» [2] анализируется образная система и идеостиль поэта. Особое внимание уделяется риторическим стратегиям, цветовой символике и музыкальности, которые формируют уникальный художественный код есенинской поэзии. Авторы подчеркивают синестетическую природу текстов, где эмоции воплощаются в визуальных и звуковых образах.

Статья, посвящённая джазовой интерпретации есенинского наследия «Есенин и джаз: интерпретация творчества поэта в XXI веке» [4], раскрывает потенциал его стихов как музыкального материала. Исследователи отмечают структурную завершенность и ритмическую выразительность текстов, что делает их легко адаптируемыми к различным музыкальным жанрам. Это подтверждает внутреннюю музыкальность поэзии как форму культурной памяти.

А.В. Крусанов в статье «Работа над чужими ошибками» [4] рассматривает личность Есенина сквозь призму биографических версий и документальных свидетельств о его последних днях. Анализируя различные источники, автор раскрывает мифологизацию образа поэта и её влияние на восприятие его творчества в культурном контексте.

Несмотря на разнообразие подходов к изучению есенинского наследия, многие работы сосредоточены на отдельных аспектах – образности, музыкальности, биографии. Между тем, целостный анализ поэтического мира С.А. Есенина, учитывающий структурные, лексико-синтаксические и философские компоненты, остаётся недостаточно представленным. Настоящее исследование стремится восполнить этот пробел, предлагая комплексный взгляд на художественную систему поэта.

Основой изучения поэтической традиции С.А.Есенина явились его произведения, посвященные темы природы и любви к Родине.

Результаты

Поэтическое наследие С.А. Есенина представляет собой одно из высших достижений русской литературы XX века. Их творчество глубоко укоренено в национальной культурной традиции, в которой органично переплетаются мотивы природы, родины, духовного поиска и философского осмысления бытия.

Муза Есенина стала импульсом к самоопределению многих авторов в контексте современной им действительности. Через поэтическое осмысление связи с родной землёй, с её вечной духовной сущностью, Есенин формирует собственную художественную систему, в которой эмоциональное переживание сочетается с философской рефлексией. Поэт воспринимает мир как пространство, наполненное гармонией, которую необходимо не просто наблюдать, но и «проявить» в слове. Его творчество наполнено не только радостью жизни, но и тонкой грустью, ощущением одиночества, осознанием скоротечности бытия. Внутреннее чувство трагичности, сопряжённое с мягкой печалью, становится сквозным мотивом их лирики, лишённой агрессии и раздражительности.

Художественное сознание Есенина связано с архаическими представлениями о природе, с крестьянским трудом, с особой символикой и лексикой, освещённой многовековым опытом национального быта. Его поэтический язык насыщен образами, восходящими к народной культуре, что придаёт текстам особую глубину и выразительность. Следование традиции у автора не сводится к внешнему подражанию – оно проявляется в интонации, в мироощущении, в способе художественного мышления. Именно это внутреннее родство делает сопоставительный анализ их творчества особенно значимым.

Современная филологическая наука всё чаще обращается к их наследию, рассматривая его в контексте широкой литературной традиции и выявляя степень новаторства в осмыслении ключевых тем. Структурно-семантический анализ позволяет не только проследить эволюцию образной системы, но и приблизиться к самому процессу художественного творчества, увидеть, как слово преобразует смысл, как рождается поэтическая интонация. Это способствует развитию воображения, пробуждает чувства и формирует способность к глубокому восприятию текста.

Талант Есенина сыграл важную роль в формировании поэтического стиля XX века. Его художественная лира – это тонкий инструмент, способный передать мельчайшие оттенки природы и движения человеческой души. Несмотря на различия в поэтических приёмах, их творчество справедливо рассматривается как родственное по духу. Интерес к сопоставительному анализу их произведений не ослабевает, что подтверждает включённость темы в круг современных литературоведческих исследований, направленных на изучение русской поэзии XX столетия.

Сергей Александрович Есенин – фигура исключительной значимости в истории русской поэзии, чье творчество стало неотъемлемой частью культурного кода XX века. Его поэтический голос, наполненный искренностью, страстью и глубокой эмоциональной отзывчивостью, отразил не только индивидуальное мироощущение, но и коллективную душу народа, с её тоской, надеждой, любовью к родной земле. Вступление Есенина в литературное пространство совпало с эпохой интенсивных идейно-художественных поисков, когда русская культура переживала период обновления, смелых экспериментов и переосмысления традиционных форм. Это время, насыщенное противоречиями и духовной напряжённостью, стало плодотворной почвой для становления поэта, чья лирика вобрала в себя как наследие Серебряного века, так и импульсы будущих литературных направлений.

Первый сборник Есенина – «Радуница» – стал не просто дебютом, но манифестом новой поэтической чувствительности, в которой крестьянская душа предстала как носитель особой духовной светимости. В сборнике «формируется особый семантический узел» [5], раскрывающий специфику творчества поэта. Критики отмечали юную непосредственность, музыкальность и образную прозрачность его стихов, сравнивая их с пением жаворонка. Уже в этом раннем этапе заметна тяга к поиску новых форм, что проявилось в обращении к имажинизму – не как догматическому течению, а как способу расширения выразительных возможностей лирики. Есенин не просто адаптировал элементы имажинизма, он трансформировал их в собственный поэтический стиль, насыщенный национальными интонациями и символикой.

Поэтическая эволюция Есенина – это путь от светлой, наивной, почти пасторальной лирики к трагическому осмыслению утраты, одиночества и духовной разобщённости. Его поэтический субъект – это русская душа, проходящая через стадии очищения, соблазна, падения и прозрения. Город, как пространство отчуждения, становится антагонистом деревни, символа родной земли и духовной опоры. В этом контексте особенно выразительны слова Ф. Сологуба, охарактеризовавшего молодого поэта как носителя страсти, воли и живой крови – качества, противопоставленные эстетизированной отстранённости столичных литературных кругов.

Художественный мир Есенина строится на синтезе понятий природы, любви, боли, дружбы и Родины. Его лирика – это не просто описание внешнего мира, а попытка проникнуть в его сущность, очеловечить пейзаж, наделить его голосом и чувствами. Природа в его стихах – это не фон, а равноправный участник эмоционального действия. Особенно ярко это проявляется в образах животных, к которым поэт испытывает детскую привязанность, сочувствие и нежность. В стихотворении «Белая береза...» белый цвет дерева приобретает символическое значение, ассоциируясь с хрупкостью, неустойчивостью и даже смертью, что придаёт образу философскую глубину.

Чтобы достичь такой степени художественной осязаемости, необходимо быть не просто мастером слова, но конгениальным народному мироощущению. Есенин демонстрирует редкое умение передавать дух народной лирики, не теряя при этом индивидуальности. Его пейзажная лирика мелодична, живописна, насыщена контрастами и внутренней динамикой. Природное и человеческое у него неразделимы – это единый поэтический организм, в котором чувства и образы переплетаются в сложную эмоциональную ткань.

В контексте поэтических течений начала XX века Есенин занимает особое место. Он стал продолжателем и одновременно обновителем пейзажной традиции XIX века, которую развивали Тютчев, Фет и другие мастера. В отличие от символистов, стремившихся к созданию надмирных образов, и акмеистов, обращавшихся к гербариям античной культуры, Есенин сохраняет живую связь с реальной природой, с её запахами, красками, голосами. Его поэзия – это не музейная экспозиция, а живое дыхание земли, в котором слышится голос народа, его боль и надежда.

Поэтическое мировоззрение С.А. Есенина формируется на основе глубокой связи с природным ландшафтом деревенской Руси, который в его лирике приобретает исключительное значение. В отличие от символистской тенденции к созданию надмирных образов, Есенин обращается к скромному, но выразительному пейзажу среднерусской полосы, насыщенному тихой мелодикой и эмоциональной плотностью. Этот географический фон, охватывающий озёрные области Псковской, Новгородской и Тверской губерний, становится не просто декорацией, а пространством, в котором раскрывается многослойное восприятие мира. В пейзаже Есенина звучит не только грусть, но и величавость, звонкость, плясовая энергия, что придаёт его стихам особую ритмическую и образную насыщенность.

Обсуждение

Сборник «Голубень» (1916) демонстрирует пространно-описательную манеру, в которой путевые картины осеннего края становятся метафорой внутреннего состояния лирического героя. Поблекшая трава, туман, вечер, свесившийся над рекой, и запах вялого укропа – всё это не просто элементы пейзажа, а знаки укоренённости в крестьянском быте, в ритмах сельской жизни.

Реальные черты деревенского уклада находят отражение и в других произведениях, таких как «Базар», «В хате», «Рекруты», «Дед», «Табун», где быт становится неотъемлемой частью художественного мира. С раннего детства крестьянский ребёнок погружён в атмосферу материальных забот, и эта жизненная наглядность формирует его восприятие, становясь основой поэтической интуиции Есенина.

Однако поэт не ограничивается бытовым уровнем. Через пейзаж он постигает более глубокие, экзистенциальные пласты бытия. Мотив «неизреченности», неоднократно отмечаемый в его текстах, представляет собой поэтический эквивалент напряжённо переживаемой, но рационально не объяснимой связи между душой и природой. В строках «О край дождей и непогоды» природа напоена «неизреченностью животной», что указывает на интуитивное, почти мистическое чувство сопричастности. Родная земля в поэзии Есенина предстает не как абстрактный образ, а как объект любви, как живая сущность, достойная возвышенного признания, подобного обращению к возлюбленной, как это видно в стихотворении «Руси».

Стихотворение «О край дождей и непогоды» представляет собой концентрированное выражение есенинского мироощущения, в котором природа не просто окружает человека, но становится его духовным продолжением. Уже в первых строках создаётся образ пространства, наполненного тишиной, дождём и зыбкой атмосферой – «кочующая тишина» звучит как метафора неустойчивого, подвижного мира, в котором всё пребывает в состоянии перехода, ожидания, внутреннего напряжения. Луна, «надломленная ковригой хлебной», – это не просто визуальный образ, а символ сопричастности небесного и земного, сакрального и бытового. Есенин соединяет лирическое и фольклорное, возвышенное и приземлённое, создавая поэтическую ткань, насыщенную культурными кодами.

Образ «малиновой лебеды» за перепаханной нивой – это не только ботаническая деталь, но и знак эмоционального состояния, в котором грусть и красота сливаются в единое переживание. Цветовая палитра стихотворения – от голубеющей воды до золотистой звезды – создаёт эффект живописного полотна, в котором каждый штрих несёт смысловую нагрузку. Природа здесь не статична, она движется, дышит, взаимодействует с лирическим героем, который «бредёт» по дороге, преодолевая беду, ощущая «яровое» – символ весны, обновления, надежды.

Особое внимание заслуживает финальный образ «кошмы певучей тьмы», в которой холмы напоены «неизреченностью животной». Эта строка – ключ к философской глубине стихотворения. «Кошма» – традиционный элемент быта, здесь превращённый в метафору ночной тьмы, певучей, живой, одушевлённой. «Неизреченность животная» – это не просто интуитивное чувство, а поэтическое

обозначение той глубинной связи, которую невозможно выразить словами, но которая ощущается телесно, эмоционально, почти инстинктивно. Есенин не описывает природу – он сливается с ней, растворяется в её дыхании, в её ритмах, в её молчаливой речи.

Лирический субъект в этом стихотворении – не наблюдатель, а участник, носитель внутреннего движения, сопряжённого с природным циклом. Его путь – это не географическое перемещение, а духовное странствие, в котором дорога становится метафорой судьбы, а «яровое» – знаком внутреннего возрождения. Стихотворение наполнено синестезией: звуки, цвета, запахи, движения – всё сливается в единую поэтическую ткань, создавая эффект присутствия, погружения, сопричастности.

Таким образом, «О край дождей и непогоды» – это не просто пейзажная зарисовка, а философская медитация, в которой природа становится зеркалом души, а слово – инструментом проникновения в её тайную суть. Есенин здесь выступает как поэт-мистик, поэт-реалист, поэт-философ, соединяющий в одном тексте чувственное и метафизическое, конкретное и универсальное.

Любовная лирика Есенина также демонстрирует новаторский подход. Уже на раннем этапе он нарушает каноны благопристойной поэтической традиции, вводя в неё мальчишескую дерзость, эмоциональную свежесть и силу страсти. Его образный строй избегает избитых метафор, предпочитая детали, не апробированные высокой поэтической школой. Так, глаза возлюбленной – это «златокарий омут», метафора, насыщенная внутренним напряжением и символической глубиной. Любовь в есенинской поэзии – это не возвышенный полёт, а боль, крик о потребности в подлинных чувствах. В цикле «Любовь хулигана» поэт признаётся в своей эмоциональной уязвимости, раскрывая палитру человеческих переживаний с особой «любовной чистотой».

Лирический герой Есенина часто предстает нежным, недооценённым поклонником, к которому любовь жестока. Он описывает женщину восторженными эпитетами, винится, преуменьшает собственную значимость, унижается, но одновременно гордится своей хмельной удачей и сломанной судьбой. Этот амбивалентный образ – смесь театральности, самоиронии и глубокой эмоциональной правды – становится одним из ключевых в его любовной лирике.

Эмоциональный спектр есенинской поэзии внутренне контрастен. При всей жизнеутверждающей интонации в ней с самого начала звучит мотив неудовлетворённости, тоски по утраченному. Лёгкая грусть, проникнутая ностальгией по ушедшему детству, по безмятежности, которую невозможно вернуть, становится лейтмотивом многих стихотворений. В «О красном вечере задумалась дорога» (1916) и «Ночь и поле, я крик петухов...» (1917) звучит смутный вздох по тому, кто исчез, кто больше не поёт на холме. Эти строки передают ощущение утраты чего-то чистого, светлого, неуловимого – того, что было и ушло, оставив поэту лишь память и боль.

Поэтическое наследие С.А. Есенина характеризуется сложным и внутренне контрастным эмоциональным спектром, в котором жизнеутверждающая интонация сочетается с устойчивым мотивом неудовлетворённости и экзистенциальной грусти. Уже в ранних произведениях поэта обнаруживается градация этого мотива – от лёгкой, ностальгически окрашенной печали по ушедшему детству до глубоко трагического переживания утраты.

Так, в стихотворении «О красном вечере задумалась дорога» (1916) звучит смутный вздох по исчезнувшему, выраженный через образ ветра, «шепчущего о ком-то, сгинувшем в ночи». Сходная интонация прослеживается и в стихотворении «Ночь и поле, я крик петухов...» (1917), где лирический субъект констатирует исчезновение чего-то светлого и безмятежного: «Кто-то сгиб, кто-то канул во тьму, уж кому-то не петь на холму» [5].

Эта грусть часто сопряжена с мотивом памяти, обладающей затаённой радостью и теплотой, особенно в контексте воспоминаний о близких и родных, утративших материальную форму, но сохранившихся в эмоциональном опыте поэта:

О товарищах весёлых,
О полях посеребрённых
Загрустила, словно голубь,
Радость лет уединенны [5].

В наиболее пессимистических текстах периода, таких как «Устал я жить в родном краю...», грусть трансформируется в трагический мотив, сопряжённый с темой бродяжничества и духовного поиска. Этот мотив, традиционно ассоциируемый с романтической фигурой поэта как «человека не от мира сего», у Есенина приобретает особую окраску – стремление к утраченной истине, к «спасению верного пути», при отсутствии чёткой мотивировки ухода [6, с. 65].

Поэтический мир Есенина обладает способностью вовлекать читателя в пространство, выходящее за пределы земного бытия, формируя ощущение сопричастности к идеальному, метафизическому измерению. Особенно ярко это проявляется в поэмах революционного периода, в частности, в «Анне Снегиной», где события 1917 года интерпретируются через призму личного переживания и предчувствия грядущей трагедии.

Поэт сопоставляет судьбу страны с судьбой народа, подчеркивая их влияние на индивидуальное сознание. Именно поэтому персонажи поэмы наделены ярко выраженной речевой индивидуальностью, основанной на «простонародной лексике». В этом контексте можно говорить о своеобразной

прозорливости Есенина, предвосхитившего катастрофу 1933 года, когда «хлебороб» превратился в символ голода.

Революция в есенинском восприятии первоначально предстает как «Солнце ослепительного века», озаряющее внешний мир и внутреннюю творческую стихию. В этом контексте поэт выражает стремление к расширению духовных горизонтов, к постижению мира в его целостности: «О, Русь, о степь, о ветры, И ты, мой отчий дом!». Здесь же возникает образ вселенского пиршества, объединяющего живых и мёртвых под райским деревом, где «дряхлое время» собирает «всё русское племя» [5].

Особое внимание заслуживает библейская образность революционных поэм, в частности «Кличей Марии», где поэт обращается к «небесной» мифологии как способу осмысления духовного обновления нации. В этих текстах раскрывается романтический космос народной души, устремлённой к творческому совершенству и утопическим идеалам.

Лингвостилистическая специфика поэзии Есенина также представляет интерес для исследования. Его стиль отличается определённой хаотичностью и отстранённостью от канонических форм стихосложения, тогда как язык остаётся доступным и выразительным. Поэт использует дольник – древнейшую метрическую форму, предшествующую силлабо-тонической системе. Лексика Есенина насыщена диалектизмами, просторечиями, архаизмами и разговорными элементами, включая междометия. Эти особенности не только формируют уникальный художественный облик текстов, но и свидетельствуют о глубоком уважении автора к своему происхождению и народной культуре.

Поэтическое творчество С.А. Есенина представляет собой уникальную художественную систему, в которой ключевую роль играет авторская образность, реализуемая посредством метафор, олицетворений, фразеологических оборотов и неологизмов. Эти элементы формируют неповторимую стилистическую палитру, придающую текстам поэта выразительность, эмоциональную насыщенность и национальный колорит.

Одним из ярких примеров метафорического мышления Есенина является стихотворение «Тихо в чаще можжевеля», где осень предстает в образе «рыжей кобылы, чешущей гриву» [6]. Подобная метафора не только оживляет природный пейзаж, но и наделяет его динамикой, внутренним движением, что характерно для есенинской поэтики.

В произведении «Письмо к женщине» поэт создает развернутую метафору, охватывающую всё стихотворение: Россия уподобляется судну, революционные потрясения – морской качке, кабак – трюму, а большевистская партия – рулевому. Сам Есенин ассоциирует себя с загнанной лошастью, припороенной стремительно меняющимся временем. Эта метафора отражает драматизм исторического момента и внутреннюю борьбу творца, вынужденного адаптироваться к новым реалиям. В финале стихотворения поэт преддрекает себе роль попутчика новой власти, демонстрируя сложное отношение к происходящим переменам.

Особое внимание заслуживают авторские эпитеты, такие как «рыхлые драчены», «точеныя печурки», «смешной дуралей», которые свидетельствуют о глубокой связи поэта с народной речью. Есенин активно использует диалектизмы, просторечия и архаизмы, создавая лексическую среду, близкую к устной традиции. Неологизмы, например «златокарий омут», демонстрируют стремление поэта к языковому обновлению и художественной изобретательности.

Заключение

Художественный мир С.А. Есенина пронизан душевностью, яркой образностью и музыкальностью. В его лирике органично переплетаются темы родины, природы, любви, революции и космоса. Авторская позиция выражена через утверждение гуманистических ценностей, народного патриотизма и эмоциональной искренности. Есенин не избегает разговорных форм, включая междометия и экспрессивные конструкции, что позволяет ему передать экзотику провинциальной жизни и подчеркнуть национальную самобытность.

Автобиографичность является ключевой чертой художественного мира поэта. Даже в исторических поэмах, где присутствует элемент художественного вымысла, сохраняется личностная интонация, позволяющая читателю воспринимать тексты как откровение. Мотивы русской деревни, природы, любви, а также образ «сорванца и хулигана» формируют устойчивую тематическую структуру есенинской поэзии, дополняемую философскими размышлениями о судьбе человека и страны.

Поэзия С.А. Есенина представляет собой неотъемлемую часть национального художественного наследия, отражающую эмоционально-психологические особенности переломной эпохи. Несмотря на внутренние противоречия и сложность жизненного пути, поэт сумел выразить красоту новой России, находящейся на стыке старого и нового. Его лирика продолжает трогать сердца читателей искренностью, глубиной чувств и любовью к родной земле.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тюрина Е.С. Есенин С. А. Лирический герой и детство поэта/ Е.С.Тюрина// Наука и современность, 2011. – [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/esenin-s-a-liricheskiy-geroy-i-detstvo-poeta>

2. Лю Л., Мiao X. Специфика поэтического творчества С.А. Есенина/ Л.Лю, X.Мiao// Этносоциум и межнациональная культура. – 2022. – [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifiki-poeticheskogo-tvorchestva-s-a-esenina>
3. Зекунова А.Л., Филина Ю.Г. Есенин и джаз: интерпретация творчества поэта в XXI веке/ А.Л.Зекунова, Ю.Г.Филина// Elibrary. – [Электронный ресурс] URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82554848>
4. Крусанов А.В. Работа над чужими ошибками (О книгах Виктора Кузнецова Тайна гибели Есенина, Современник, 1998 и Сергей Есенин. Казнь после убийства, Нева, 2005)// Новое литературное обозрение. – 2022. – БД Scopus. – [Электронный ресурс] URL: <https://nlobooks.ru/upload/iblock/d50/393980nsq1mie86kw8g7e55csj94w8s5.pdf>
5. Есенин С. Стихи// Рустих. – [Электронный ресурс] URL: <https://rustih.ru/sergej-esenin/>
6. Марченко А. Творческий мир С.А. Есенина [Текст]/ А. Марченко – М.: Русская поэзия, 1972. – 250 с.

REFERENCES:

1. Tyurina E.S. Esenin S.A. *Liricheskij geroj i detstvo poe'ta* [Esenin S.A. The lyrical hero and the poet's childhood]. *Nauka i sovremennost'*, 2011. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/esenin-s-a-liricheskij-geroy-i-detstvo-poeta> (accessed 9 June 2026). (In Russian)
2. Liu L., Miao H. *Specifika poe'ticheskogo tvorchestva S.A. Esenina* [Specific features of S.A. Esenin's poetic creativity]. *E'tnosotsium i mezhnatsional'naya kul'tura*, 2022. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifiki-poeticheskogo-tvorchestva-s-a-esenina> (accessed 9 June 2026). (In Russian)
3. Zekunova A.L., Filina Yu.G. *Esenin i dzhaz: interpretaciya tvorchestva poe'ta v XXI veke* [Esenin and jazz: interpretation of the poet's works in the 21st century]. Elibrary, available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82554848> (accessed 9 June 2026). (In Russian)
4. Kruzanov A.V. *Rabota nad chuzhimi oshibkami* (O knigah Viktora Kuznecova *Tajna gibeli Esenina*, *Sovremennik*, 1998 i *Sergej Esenin. Kazn' posle ubijstva*, Neva, 2005) [Working on others' mistakes (On the books by Viktor Kuznetsov *The mystery of Esenin's death*, *Sovremennik*, 1998 and *Sergey Esenin. Execution after murder*, Neva, 2005)]. *Novoe literaturnoe obozrenie*, 2022. Available at: <https://nlobooks.ru/upload/iblock/d50/393980nsq1mie86kw8g7e55csj94w8s5.pdf> (accessed 9 June 2026). (In Russian)
5. Esenin S. *Stihi* [Poems]. Rustih, available at: <https://rustih.ru/sergej-esenin/> (accessed 9 June 2026). (In Russian)
6. Marchenko A. *Tvorcheskij mir S.A. Esenina* [The creative world of S.A. Esenin]. Moscow, *Russkaya poe'ziya*, 1972, 250 p. (In Russian)

Сведения об авторе:

Сириуля Мадина Александровна* – кандидат филологических наук, старший преподаватель кафедры филологии и практической лингвистики, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтұрсынова, 47 к.119, тел.: 87776959496, e-mail: sima-al1@yandex.kz.

Сириуля Мадина Александровна* – филология ғылымдарының кандидаты, филология және практикалық лингвистика кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ, Байтұрсынов көш, 47, 119-к. Тел.: +7 777 695 9496. e-mail: sima-al1@yandex.kz.

Sirivlya Madina Alexandrovna* – Candidate of Philological Sciences, Senior Lecturer, Department of philology and practical linguistics, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., office 119, tel.: +7 777 695 9496. e-mail: sima-al1@yandex.kz.

ХҒТАР 11.07.75

ӨОЖ 338.439:332.1

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621277>**ШЕКАРАЛЫҚ ӨҢІРДІҢ ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ДАМУЫ МЕН АЗЫҚ-ТҮЛІК ҚАУІПСІЗДІГІ:
СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ КЕШЕНДІ ТАЛДАУЫ**

Әлібай Е.А.* – PhD, қауымдастырылған профессор, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан.

Әлібай Л.М. – аға ғылыми қызметкер, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан.

Бұл мақалада Солтүстік Қазақстан облысының әлеуметтік-экономикалық даму ерекшеліктері мен шекаралық орналасуының өңірлік азық-түлік қауіпсіздігіне ықпалы кешенді түрде талданады. Зерттеу FAO ұсынған азық-түлік қауіпсіздігінің төртөлшемді әдіснамасы (қолжетімділік, экономикалық және физикалық қолжетімділік, пайдаланылуы, тұрақтылық) негізінде жүргізілді. Өңірдің аграрлық өндірістік әлеуетінің жоғары екеніне қарамастан, халықтың азық-түлікке экономикалық қолжетімділігі табыс деңгейі, баға тұрақсыздығы, шекаралық нарықтарға тәуелділік және климаттық тәуекелдер әсерінен шектелетіні анықталды. Мақалада табыс–баға парадоксы, трансшекаралық сауданың әсері және климаттық факторлардың өндіріс тұрақтылығына ықпалы айқындалды. Зерттеу нәтижелері өңірлік азық-түлік саясатын жетілдіруге бағытталған практикалық ұсынымдар әзірлеуге негіз болады.

Түйін сөздер: азық-түлік қауіпсіздігі, шекаралық өңір, Солтүстік Қазақстан облысы, әлеуметтік-экономикалық даму, аграрлық сектор, FAO әдіснамасы, климаттық тәуекелдер, экономикалық қолжетімділік.

**АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ФАКТОРОВ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИГРАНИЧНОГО РЕГИОНА: КЕЙС СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Әлібай Е.А.* – PhD, ассоциированный профессор, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан.

Әлібай Л.М. – старший научный сотрудник, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан.

В данной статье комплексно анализируются особенности социально-экономического развития Северо-Казахстанской области и влияние её приграничного расположения на региональную продовольственную безопасность. Исследование проведено на основе четырёхмерной методологии продовольственной безопасности FAO (доступность, экономическая и физическая обеспеченность, использование и стабильность). Несмотря на высокий аграрный производственный потенциал региона, экономическая доступность продовольствия для населения ограничена уровнем доходов, нестабильностью цен, зависимостью от трансграничных рынков и климатическими рисками. В статье выявлены парадокс «доход–цена», влияние трансграничной торговли и климатических факторов на устойчивость производства. Результаты исследования служат основой для разработки практических рекомендаций по совершенствованию региональной продовольственной политики.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, приграничный регион, Северо-Казахстанская область, социально-экономическое развитие, аграрный сектор, методология FAO, климатические риски, экономическая доступность.

**ANALYSIS OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT AND FOOD SECURITY FACTORS
IN A BORDER REGION: A CASE STUDY OF THE NORTH KAZAKHSTAN REGION**

Әлібай Е.А.* – PhD, Associate Professor, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavl, Kazakhstan.

Әлібай Л.М. – Senior Researcher, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavl, Kazakhstan.

This article provides a comprehensive analysis of the socio-economic development of the North Kazakhstan region and the impact of its border location on regional food security. The study was conducted based on FAO's four-dimensional food security methodology (availability, economic and physical access, utilization, and stability). Despite the region's high agricultural production potential, the economic access to food for the population is limited by income levels, price instability, dependency on cross-border markets, and climatic risks. The study identifies the income–price paradox, the effects of cross-border trade, and the influence of climatic factors on production stability. The findings provide a basis for developing practical recommendations to improve regional food security policies.

Keywords: food security, border region, North Kazakhstan region, socio-economic development, agricultural sector, FAO methodology, climatic risks, economic access.

Кіріспе

Азық-түлік қауіпсіздігі қазіргі кезеңде ғаламдық экономикалық тұрақтылық пен әлеуметтік дамудың негізгі стратегиялық бағыттарының бірі ретінде қарастырылады. Соңғы жылдары геосаяси тұрақсыздық-тың күшеюі, халықаралық жеткізу тізбектерінің бұзылуы, климаттық өзгерістер және азық-түлік бағасының құбылмалылығы өңірлік азық-түлік жүйелерінің осал тұстарын айқын көрсетті. Аталған үдерістер шекаралас аумақтарда, аграрлық бейіндегі және әлеуметтік-экономикалық тұрғыдан әлсіз өңірлерде ерекше өзектілікке ие, өйткені мұндай аумақтарда азық-түлікке қолжетімділік пен экономикалық тұрақтылық сыртқы факторларға едәуір тәуелді болып қалыптасады.

Қазақстан жағдайында азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесі тек ұлттық деңгейдегі саясатпен шектелмей, өңірлік ерекшеліктерді ескеретін кешенді талдауды талап етеді. Осы тұрғыда Солтүстік Қазақстан облысы стратегиялық маңызы бар өңірлердің қатарына жатады. Өңір Ресей Федерациясымен ұзақ шекаралас аумақта орналасқан, климаты қатал континентальды сипатқа ие, халықтың орналасу тығыздығы төмен және экономикалық құрылымында аграрлық сектор басым. Бұл факторлар облыстың әлеуметтік-экономикалық даму динамикасына, азық-түлік өндірісі мен ішкі нарықтың тұрақтылығына, сондай-ақ сыртқы нарықтарға тәуелділік деңгейіне тікелей ықпал етеді.

Солтүстік Қазақстан облысы елдің негізгі азық-түлік өндіруші өңірлерінің бірі ретінде дәнді және майлы дақылдар, сүт және ет өнімдерін өндіруде маңызды рөл атқарады. Алайда өндірістік әлеуеттің жоғары деңгейі өңірде азық-түлік қауіпсіздігінің барлық құрамдас бөліктерінің толық қамтамасыз етілгенін білдірмейді. Халықтың азық-түлікке экономикалық қолжетімділігі ауылдық аумақтардағы әлеуметтік осалдық, табыс деңгейінің жеткіліксіздігі, баға конъюктурасының тұрақсыздығы және шекаралық нарықтарға тәуелділік сияқты факторлармен шектелуі мүмкін. Нәтижесінде өндіріс көлемінің өсуіне қарамастан, азық-түлікке тең қолжетімділік сақталмай, табыс пен баға арасындағы сәйкессіздік байқалады.

Өңірлік азық-түлік қауіпсіздігіне климаттық факторлар да елеулі әсер етеді. Ұзақ әрі қатал қыс мезгілі, вегетациялық кезеңнің қысқалығы және жауын-шашын көлемінің жыл сайынғы ауытқуы ауыл шаруашылығы өндірісіндегі тәуекелдерді арттырады. Климаттық өзгерістердің күшеюі ұзақ мерзімді перспективада өндіріс көлемінің тұрақтылығына, ішкі нарықтағы баға динамикасына және азық-түлік қорларын қалыптастыру мен басқару тетіктеріне қосымша қысым түсіреді.

Сараптамалық тұрғыдан алғанда, Солтүстік Қазақстан облысының әлеуметтік-экономикалық даму деңгейі, шекаралас орналасуы, экспорттық және импорттық тәуелділігі, сондай-ақ климаттық тәуекелдері өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін қалыптастыруға кешенді әсер етеді. Осыған байланысты аталған өңірді зерттеу өндірістік әлеует, экономикалық қолжетімділік және климаттық бейімделу факторларының өзара байланысын анықтауға мүмкіндік береді әрі өңірлік азық-түлік саясатын жетілдіруге бағытталған ғылыми негізделген ұсыныстар әзірлеу үшін өзекті.

Осы зерттеу Солтүстік Қазақстан облысының әлеуметтік-экономикалық даму көрсеткіштері, шекаралық нарықтарға тәуелділік және климаттық факторлардың өңірлік азық-түлік қауіпсіздігіне ықпалын кешенді түрде талдауға бағытталған. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері азық-түлік өндірісінің тұрақтылығын арттыруға, халықтың экономикалық және физикалық қолжетімділігін қамтамасыз етуге, сондай-ақ өңірлік тәуекелдерді төмендетуге бағытталған стратегиялық және практикалық шараларды бағалауға мүмкіндік бермек.

Солтүстік Қазақстан облысының әлеуметтік-экономикалық даму көрсеткіштері мен климаттық тәуекелдерін ескере отырып, өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін кешенді бағалау және аймақтық саясатты жетілдіруге бағытталған практикалық ұсыныстар әзірлеу осы зерттеудің **мақсаты** болып табылады.

Аталған мақсатқа жету үшін мына **міндеттер** қойылды:

1. Солтүстік Қазақстан облысының 2025 жылғы әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштерін, ауыл шаруашылығы өнімдерінің көлемін және индустриялық сектордың даму деңгейін талдау;
2. FAO азық-түлік қауіпсіздігі индекстері негізінде қолжетімділік (availability), экономикалық қолжетімділік (access), пайдаланылуы (utilization) және тұрақтылық (stability) өлшемдері бойынша өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін бағалау;
3. Шекаралық нарық пен валюта бағамының экономикалық қолжетімділікке әсерін, сонымен қатар табыс – баға парадоксын талдау;
4. Климаттық тәуекелдердің өндіріс тұрақтылығына ықпалын бағалау және өңірлік агротехнологиялық адаптация стратегияларын қарастыру;
5. Зерттеу нәтижелері негізінде өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін нығайтуға бағытталған практикалық ұсыныстар әзірлеу.

Осы зерттеудің ғылыми жаңалығы Солтүстік Қазақстан облысының азық-түлік қауіпсіздігін Біріккен Ұлттар Ұйымының Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы (FAO) ұсынған төртөлшемді әдіснама (availability, access, utilization, stability) негізінде кешенді түрде бағалауында және өңірлік ерекшеліктерді ескере отырып жаңа ғылыми тұжырымдар ұсынуында көрініс табады. Зерттеу барысында азық-түлік қауіпсіздігі өндіріс көлемімен ғана шектелмей, экономикалық, шекаралық және климаттық факторлармен өзара байланыста қарастырылды.

Біріншіден, табыс – баға парадоксы өңірлік деңгейде ғылыми тұрғыдан негізделді. Ауыл шаруашылығы өндірісінің жоғары қарқыны мен экспорттық әлеуеттің артуы халықтың азық-түлікке экономикалық қолжетімділігін автоматты түрде қамтамасыз етпейтіні дәлелденді. Бұл құбылыстың Солтүстік

Қазақстан облысы жағдайында шекаралық нарықтарға тәуелділік пен валюта бағамдарының құбылмалылығымен тікелей байланысты екені анықталды.

Екіншіден, шекаралық фактор азық-түлік қауіпсіздігіне ықпал ететін дербес ғылыми объект ретінде қарастырылды. Ресей Федерациясымен шекаралас орналасудың өңірлік азық-түлік нарығына әсері (баға тұрақсыздығы, импорттық тәуелділік, трансшекаралық сауда ағындары) жүйелі түрде талданып, бұл фактордың FAO әдіснамасындағы *access* және *stability* өлшемдеріне бір мезгілде ықпал ететіні ғылыми тұрғыдан дәлелденді.

Үшіншіден, климаттық тәуекелдер мен технологиялық бейімделу арасындағы өзара байланыс айқындалды. Суармалы жерлерді ұлғайту, тыңайтқыштарды ғылыми негізде қолдану, цифрлық агротехнологиялар мен жасанды интеллект элементтерін енгізу климаттық тәуекелдердің азық-түлік өндірісінің тұрақтылығына теріс әсерін төмендететіні негізделді. Бұл тұжырым FAO әдіснамасындағы *stability* өлшемін өңірлік деңгейде бағалауға теориялық үлес қосады.

Төртіншіден, экспорт пен ішкі нарық арасындағы тепе-теңдіктің бұзылуы азық-түлік қауіпсіздігінің әлеуметтік аспектілерін өлсірететіні жөнінде жаңа ғылыми қорытынды жасалды. Экспорттық бағыттың күшеюі өндірістік өсімді ынталандырғанымен, ішкі нарықтағы баға тұрақтылығы мен халықтың әлеуметтік қолжетімділігіне қысым жасайтыны дәлелденді.

Осылайша, зерттеу өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін бағалауда экономикалық өсім мен әлеуметтік қолжетімділік арасындағы қайшылықтарды айқындайтын жаңа ғылыми көзқарас қалыптастырады.

Зерттеу әдістері. Бұл зерттеу Солтүстік Қазақстан облысының әлеуметтік-экономикалық дамуы мен шекаралық ерекшеліктерінің өңірлік азық-түлік қауіпсіздігіне ықпалын кешенді түрде бағалауға бағытталған. Зерттеу жұмысы сипаттамалық-аналитикалық және салыстырмалы талдау әдістерін ұштастыра отырып жүргізілді.

Зерттеудің ақпараттық базасын Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бюросының ресми деректері, ауыл шаруашылығы өнімдерінің өндіріс көлемі, азық-түлік бағаларының динамикасы, халық табысы мен әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштер жөніндегі статистикалық мәліметтер құрады. Сонымен қатар, Біріккен Ұлттар Ұйымының Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы (FAO) ұсынған әдіснамалық материалдар пайдаланылды. Өңірлік деңгейдегі қосымша дереккөздер ретінде облыстық және аудандық атқарушы органдардың есептері, сондай-ақ шекаралық сауда мен азық-түлік нарығындағы баға динамикасы жөніндегі мәліметтер қолданылды.

Климаттық факторлардың азық-түлік өндірісінің тұрақтылығына әсерін бағалау үшін Қазақстан Республикасының Гидрометеорологиялық қызметінің ауа температурасы, жауын-шашын мөлшері және вегетациялық кезеңнің ұзақтығы жөніндегі ресми деректері пайдаланылды. Аталған көрсеткіштер өңірлік азық-түлік қауіпсіздігінің тұрақтылық (*stability*) өлшемін талдауға негіз болды.

Өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін бағалау FAO ұсынған көпөлшемді әдіснамаға сәйкес төрт негізгі өлшем бойынша жүзеге асырылды: азық-түліктің қолжетімділігі (*availability*), экономикалық және физикалық қолжетімділік (*access*), пайдаланылуы (*utilization*) және тұрақтылық (*stability*). Әрбір өлшем өңірдің әлеуметтік-экономикалық және шекаралық ерекшеліктерін ескере отырып сипаттамалық және салыстырмалы талдау әдістері арқылы бағаланды.

Азық-түліктің қолжетімділігі ауыл шаруашылығы өнімдерінің өндіріс көлемі мен ішкі нарықты қамтамасыз ету мүмкіндігі негізінде талданды. Экономикалық және физикалық қолжетімділік халық табысының деңгейі, азық-түлік бағаларының өзгерісі және шекаралық нарықтардың ықпалы арқылы қарастырылды. Пайдаланылуы өлшемі азық-түлік өнімдерінің сапасы мен тұтыну мүмкіндіктері тұрғысынан сипатталды. Тұрақтылық өлшемі климаттық тәуекелдер мен нарықтағы баға тұрақсыздығы контекстінде бағаланды.

Осы әдістер өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін өндірістік көрсеткіштермен қатар, әлеуметтік, экономикалық және шекаралық факторлармен өзара байланыста кешенді түрде бағалауға мүмкіндік берді.

Әдебиеттерге шолу. Азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге арналған теориялық және тұжырымдамалық негіздер Біріккен Ұлттар Ұйымына қарасты негізгі халықаралық ұйымдардың зерттеулерінде кеңінен дамытылған. Атап айтқанда, Біріккен Ұлттар Ұйымының Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы (FAO), Дүниежүзілік азық-түлік бағдарламасы (WFP) және Біріккен Ұлттар Ұйымының Даму бағдарламасы (UNDP) азық-түлік қауіпсіздігін көпөлшемді әлеуметтік-экономикалық санат ретінде қарастырады. FAO ұсынған анықтамаға сәйкес, азық-түлік қауіпсіздігі – барлық адамдардың кез келген уақытта белсенді әрі салауатты өмір сүруі үшін жеткілікті, қауіпсіз және құнарлы азық-түлікке физикалық, әлеуметтік және экономикалық тұрғыдан қолжетімділігінің қамтамасыз етілуі болып табылады. Бұл анықтама азық-түлік қауіпсіздігін тек өндіріс көлемімен шектемей, оны халықтың тұтыну мүмкіндіктері мен және әлеуметтік жағдайымен тікелей байланыстырады.

Азық-түлік қауіпсіздігі теориясының дамуы Амартия Сеннің «құқықтылық теориясымен» [15] тығыз сабақтас. Сеннің тұжырымдамасына сәйкес, ашаршылық пен азық-түлік тапшылығы көбіне ауыл шаруашылығы өндірісінің жеткіліксіздігінен емес, халықтың азық-түлікке экономикалық қолжетімділігінің шектелуінен туындайды. Бұл көзқарас азық-түлік қауіпсіздігін бағалауда табыс деңгейі, жұмыспен қамту, әлеуметтік теңсіздік және нарықтық институттардың тиімділігі сияқты факторларды ескерудің әдіснамалық маңызын айқындайды.

Қазіргі ғылыми әдебиеттерде азық-түлік қауіпсіздігі көпөлшемді жүйе ретінде қарастырылып, әдетте төрт негізгі құрамдас өлшем арқылы талданады: азық-түліктің қолжетімділігі (availability), экономикалық және физикалық қолжетімділік (access), пайдаланылуы немесе тұтыну сапасы (utilization) және тұрақтылық (stability). Бұл тәсіл азық-түлік қауіпсіздігін өндірістік әлеуетпен қатар, халықтың тағамдық құрылымы, денсаулық сақтау жүйесі, инфрақұрылымдық даму және институционалдық орта контекстінде кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді.

Шетелдік ғылыми зерттеулерде аграрлық өңірлердегі азық-түлік қауіпсіздігі климаттық өзгерістерге, нарықтық баға ауытқуларына және мемлекеттік реттеу тетіктерінің тиімділігіне тәуелді үдеріс ретінде қарастырылған. С. В. Баррет[1], А. Макмахон[2] және С. П. Тиммер[3] еңбектерінде ауыл шаруашылығы өндірісінің маусымдық сипаты мен экспортқа бағдарлануы ішкі нарықтағы баға тұрақтылығына және халықтың экономикалық қолжетімділігіне айтарлықтай әсер ететіні негізделген. Сонымен қатар, Дэ Ван, Р. Ли, Г. Гао, Н. Джакула, С. Токтарбек, С. Ли, П. Ма, Ю. Фэн [4] зерттеуі климаттық өзгерістердің азық-түлік қауіпсіздігіне аймақтық деңгейде тигізетін ықпалын эмпирикалық тұрғыдан талдайды.

Қазақстандық ғалымдардың еңбектерінде азық-түлік қауіпсіздігі ұлттық экономикалық қауіпсіздікпен өзара байланыста қарастырылып келеді. Атап айтқанда, А. Қалиева, С. Әбілда [5], Р. Дуламбаева, А. Жүнісова [6], Е. Алибаев, М. Онучко [7], сондай-ақ М. Оскардың [8] зерттеулерінде агроөнеркәсіптік кешенді мемлекеттік қолдау, өңірлік мамандану және азық-түлік нарығының тұрақтылығы мәселелері жан-жақты талданған.

Сонымен қатар, Е.Е. Гриднева, Г.Ш. Қалиақпарова, Р.Н. Жанғырова, Р.С. Парманова және А.Б. Кошербаевтың [9] еңбектерінде Қазақстанда азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған модельдер мен саясаттық ұсыныстар қарастырылған. А. Смағұловтың [10] зерттеуінде азық-түлік қауіпсіздігінің физикалық және экономикалық қолжетімділігі, өнім сапасы мен қауіпсіздік өлшемдері теориялық және қолданбалы тұрғыдан негізделген.

Х. Шолпанбаева, А. Апышева және А. Байгужинова [11] өз еңбектерінде ауыл шаруашылығы дамуының азық-түлік қауіпсіздігіне әсерін өндірістік әлеует пен экономикалық қолжетімділік арасындағы өзара байланыс арқылы талдайды. Авторлар аграрлық өндірістің өсуі автоматты түрде азық-түлікке тең қолжетімділікті қамтамасыз етпейтінін атап көрсетеді.

Жалпы алғанда, қарастырылған ғылыми еңбектерде азық-түлік қауіпсіздігі ұлттық экономикалық қауіпсіздіктің маңызды құрамдас бөлігі ретінде сипатталып, агроөнеркәсіптік кешенді мемлекеттік қолдаудың, нарықтық және логистикалық инфрақұрылымды дамытудың шешуші рөлі айқындалады. Алайда қазіргі зерттеулерде өңірлік деңгейдегі азық-түлік қауіпсіздігін бағалау көбіне ауыл шаруашылығы өндірісінің көлемімен шектеліп, климаттық тәуекелдер, халық табысының деңгейі, нарықтық инфрақұрылымның дамуы және шекаралық сауда ағындарының әсері жеткілікті дәрежеде кешенді түрде қарастырылмай отыр. Әсіресе шекаралас өңірлердегі азық-түлік нарығының ерекшеліктері мен баға қалыптасу тетіктерінің әлеуметтік-экономикалық салдары ғылыми әдебиеттерде фрагментарлық сипатта зерттелген.

Осыған байланысты аталған зерттеу өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін бағалаудағы теориялық және әдіснамалық олқылықтарды толықтыруға бағытталған. Зерттеуде қолданылған теориялық-әдістемелік негіз Солтүстік Қазақстан облысының аграрлық бейінін, шекаралық орналасу ерекшеліктерін және әлеуметтік-экономикалық даму деңгейін ескере отырып, азық-түлік қауіпсіздігін FAO ұсынған көпөлшемді тәсіл негізінде кешенді түрде талдауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін өндірістік әлеуетпен қатар, экономикалық қолжетімділік, нарықтық тұрақтылық және сыртқы тәуекелдер контекстінде бағалауға жағдай жасайды.

Нәтижелер және талқылау

Солтүстік Қазақстан облысы – Қазақстан Республикасының солтүстік бөлігінде орналасқан және елдің маңызды шекаралық өңірлерінің бірі болып табылады. Облыс аумағы Батыс Сібір жазығының оңтүстік бөлігін қамтып, орманды-дала және дала табиғи-климаттық белдеулерінде орналасқан. Географиялық орналасуына сәйкес, облыс солтүстігінде Ресей Федерациясының Қорған, Түмен және Омбы облыстарымен, оңтүстігінде Ақмола облысымен, батысында Қостанай облысымен және шығысында Павлодар облысымен шектеседі. Бұл фактор Солтүстік Қазақстан облысының трансшекаралық экономикалық, әлеуметтік және демографиялық үдерістерге белсенді тартылуын айқындайды.

Облыс аумағының климаттық жағдайлары күрт континенттік сипатымен ерекшеленеді. Қыс мезгілі ұзақ әрі қатал болып келеді, қаңтар айындағы орташа ауа температурасы $-18...-20^{\circ}\text{C}$ шамасында, ал жекелеген жылдары -35°C -қа дейін төмендейді. Жаз мезгілі салыстырмалы түрде қысқа болғанымен, жеткілікті дәрежеде жылы, шілде айындағы орташа температура $+19...+22^{\circ}\text{C}$ аралығында қалыптасады. Жылдық жауын-шашын мөлшері орта есеппен 300–350 мм құрайды, оның басым бөлігі көктемгі және жазғы кезеңдерге тиесілі. Аталған климаттық ерекшеліктер ауыл шаруашылығы өндірісінің, әсіресе дәнді дақылдарды өсірудің мамандану бағытын айқындап, аграрлық сектордың табиғи-климаттық тәуекелдерге тәуелділігін арттыратын маңызды фактор ретінде қарастырылады.

Солтүстік Қазақстан облысы Қазақстан Республикасының Ресей Федерациясымен ең ұзын шекара желілерінің біріне ие. Ресеймен шекаралас аудандар қатарына Қызылжар, Жамбыл, Мамлют, М. Жұмабаев, Шал ақын, Ғабит Мүсірепов атындағы және Уәлиханов аудандары жатады. Аталған шекаралық аумақтарда халықтың әлеуметтік-экономикалық жағдайы, көші-қон үдерістері және еңбек

нарығының қалыптасуы трансшекаралық экономикалық және әлеуметтік байланыстарға айтарлықтай дәрежеде тәуелді болып отыр.

Соңғы жылдары Солтүстік Қазақстан облысында демографиялық ахуалдың нашарлауы тұрақты үрдіске айналып отыр. Ресми статистикалық деректерге сәйкес, 2025 жылғы қаңтар-желтоқсан аралығында облыста көші-қонның теріс сальдосы -6203 адамды құрады. Бұл көрсеткіш өңірден басқа облыстарға және шетелге көшіп кеткен азаматтар санының келгендерден едәуір көп болғанын көрсетеді. Теріс көші-қон балансының негізгі үлесі ішкі көші-қонға тиесілі: облысаралық көші-қон нәтижесінде -5994 адам тіркелсе, сыртқы көші-қон бойынша – 209 адам көлемінде теріс айырма қалыптасты. Аталған деректер 2025 жылғы 1 желтоқсанға дейінгі ресми статистикаға негізделген және өңірдегі көші-қон үдерістерінің жалпы бағытын айқын сипаттайды [12].

Көші-қонның теріс динамикасы облыс халқы санының азаюымен қатар жүруде. 2025 жылғы желтоқсан айындағы жағдай бойынша Солтүстік Қазақстан облысының халқы шамамен 514,7 мың адамды құрап, өткен жылдың сәйкес кезеңімен салыстырғанда төмендеген. Бұл үрдіске табиғи өсімнің теріс мәнге ие болуы да ықпал етуде: туу деңгейінің баяулауы мен өлім-жітімнің салыстырмалы түрде жоғары болуы демографиялық қысымды күшейтіп, көші-қонның үдеуіне қосымша фактор ретінде әсер етуде.

Жоғарыдағы деректерге сәйкес, халық тығыздығы республикалық орташа деңгейден төмен болып қалып отыр және әсіресе шекара маңындағы ауылдық аудандарда сирек қоныстануы төмендегі 1-ші кестеде көрсетілген.

1-кесте – Шекара маңындағы аудандардың халық саны

Аудан атауы	Халық саны
Қызылжар ауданы	46 480 адам
Жамбыл ауданы	18 100 адам
Мамлют ауданы	17 500 адам
Мағжан Жұмабаев ауданы	27 300 адам
Шал ақын ауданы	17 900 адам
Ғабит Мүсірепов ауданы	35 700 адам
Уәлиханов ауданы	13 200 адам
Авторлар құрастырған	

Облыс халқының басым бөлігі ауылдық елді мекендерде тұрады, ал негізгі экономикалық қызмет түрі ретінде ауыл шаруашылығы жетекші орын алады. Солтүстік Қазақстан облысы астық өндірісі бойынша республиканың жетекші өңірлерінің бірі саналады. Сонымен қатар, мал шаруашылығы, ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеу, шағын және орта бизнес, сауда және қызмет көрсету салалары тұрғындардың негізгі табыс көздерін қалыптастырады. Алайда ауылдық аумақтарда әлеуметтік инфрақұрылымның біркелкі дамымауы білім беру, денсаулық сақтау және әлеуметтік қызметтердің қолжетімділігін шектеп, өмір сүру сапасына кері әсерін тигізуде.

Өңірдің басқа облыстардан басты айырмашылығы айқын аграрлық мамандануымен, қара топырақты жерлерінің жоғары құнарлылығымен және астық өндірісіндегі стратегиялық маңызымен сипатталады. Сонымен бірге, Солтүстік Қазақстан облысы демографиялық қартаю үдерісінің күшеюімен, көші-қон сальдосының тұрақты түрде теріс мәнге ие болуымен және еңбек ресурстарының қысқаруымен ерекшеленеді (2-кесте).

2-кесте – 2025 жылғы Солтүстік Қазақстан облысының демографиялық және экономикалық көрсеткіштері

Көрсеткіш	Мәліметтер (2025 ж.)	Алдыңғы жылмен салыстырмасы
Халық саны	514,7 мың адам	Қалалықтар – 258,1 мың (50,2%), ауылдықтар – 256,6 мың (49,8%)
Туылғандар саны	4193 адам	2024 жылғы сәйкес кезеңге қарағанда 10,3% азайды
Қайтыс болғандар саны	5429 адам	2024 жылғы сәйкес кезеңге қарағанда 1,8% азайды
Табиғи өсім / кему	-1236 адам	2024 жылғы қаңтар-қараша: -853 адам
Көші-қонның жалпы сальдосы	-6203 адам	2024 жылғы қаңтар-қараша: -6541 адам
– Сыртқы көші-қон	-209 адам	2024 жылғы қаңтар-қараша: -1697 адам
– Ішкі көші-қон	-5994 адам	2024 жылғы қаңтар-қараша: -4844 адам
Жұмыссыздар саны (III тоқсан)	11,8 мың адам	Жұмыс күшінің 4,4%-ы

Мансап орталықтарын- да тіркелген жұмыссыз- дар	2583 адам	Жұмыс күшінің 1%-ы (2026 жылғы 1 қаңтар)
Орташа айлық жалақы (атаулы, III тоқсан)	317 302 теңге	2024 жылғы III тоқсанға өсім 10,6%
Нақты жалақы индексі (III тоқсан)	98,1%	Өткен жылмен салыстырғанда аздап төмендеу
Орташа жан басына шаққандағы атаулы ақшалай табыс	207 096 теңге	2024 жылғы III тоқсанға қарағанда 3,5% жоғары
Нақты ақшалай кіріс индексі	91,9%	Өткен жылмен салыстырғанда төмендеу
Қазақстан Республикасының Ұлттық статистика бюросы дерегі негізінде авторлар құрастырған		

2-ші кестеде көрсетілгендей, 2025 жылы Солтүстік Қазақстан облысында халық саны 514,7 мың адамды құрады, оның жартысы қалалықтарда (50,2%), жартысы ауылдық жерлерде (49,8%) орналасқан. Табиғи өсім теріс болып, халықтың табиғи кемуі -1236 адамды құрады, ал көші-қон сальдосы -6203 адам деңгейінде қалыптасты, оның ішінде ішкі көші-қон -5994, сыртқы көші-қон -209 адам болды. Демографиялық қысқару, теріс көші-қон және еңбек ресурстарының шектеулілігі өңірдің әлеуметтік-экономикалық даму потенциалына белгілі бір қысым жасайды.

Дегенмен, облыстағы экономикалық көрсеткіштер демографиялық факторларға қарамастан оң серпінін сақтап отыр. III тоқсанда жұмыссыздар саны 11,8 мың адамды құрап, жұмыссыздық деңгейі 4,4% деңгейінде сақталды, ал Мансап орталықтарында тіркелген жұмыссыздар 2583 адам болды. Орташа айлық жалақы 317 302 теңге болып, өткен жылмен салыстырғанда 10,6% өсім көрсетті. Халықтың орташа жан басына шаққандағы атаулы ақшалай табысы 207 096 теңгеге жетіп, нақты кіріс индекстері 91,9% деңгейінде қалыптасты.

Жоғарыда баяндалған демографиялық және әлеуметтік сипаттамалар өңірдің даму моделін айқындайтын негізгі алғышарттар болып табылады. Солтүстік Қазақстан облысының шекаралық орналасуы, климаттық жағдайлары, халықтың сирек қоныстануы және аграрлық бағыттылығы экономиканың салалық құрылымына, еңбек нарығына және азық-түлік қауіпсіздігіне тікелей әсер етеді. Осыған қарамастан, 2025 жылдың он айының қорытындысы бойынша облыстың қысқа мерзімді экономикалық өсімі 13%-ды құрап, өңірлер арасында бесінші орынға ие болды. Негізгі экономикалық салалардың барлығы дерлік оң өсім көрсетті: ауыл шаруашылығы – 9,3%, өнеркәсіп – 19,1%, құрылыс – 30,1%, тұрғын үйді пайдалануға беру – 3,9%, инвестициялар көлемі – 7,3%.

Солтүстік Қазақстан облысы үшін ауыл шаруашылығы өңір экономикасының базалық саласы болып табылады. Агроөнеркәсіп кешенінің үлесі жалпы өңірлік өнімнің шамамен төрттен бір бөлігін құрайды (2024 жылы – 23,4%, 2023 жылы – 21%). Жалпы ауыл шаруашылығы өнімінің көлемі 878,3 млрд теңгеге жетіп, облысқа республикалық деңгейде көшбасшы үштіктің қатарына енуге және елдің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге елеулі үлес қосуға мүмкіндік берді [13].

Өңірде қазақстандық астықтың 24,8%-ы, майлы дақылдардың 23,6%-ы және сүт өнімдерінің 10,2%-ы өндіріледі. Өсімдік шаруашылығында жоғары өндірістік нәтижелерге қол жеткізілді: 4,3 млн гектар егіс алқабы жиналып, майлы дақылдар алқабы 1 млн гектарға дейін ұлғайды, бұл ел бойынша ең жоғары көрсеткіш болып табылады.

Облыс бойынша орташа астық түсімі гектарына 21 центнерді құрап, жалпы өнім көлемі рекордтық 6,5 млн тоннаға жетті. Жекелеген шаруашылықтарда өнімділік гектарына 60 центнерден жоғары деңгейде тіркелді. Майлы дақылдар бойынша тарихи максимум – 1,2 млн тонна өндіріліп, орташа өнімділік гектарына 12 центнерді құрады [14].

Аталған нәтижелер диқандардың жүйелі еңбегімен, заманауи агротехнологияларды енгізумен, цифрландыру құралдарын қолданумен және элиталық тұқым сорттарын пайдаланумен қамтамасыз етілді. 2025 жылы егіс жұмыстарына 340 мың тонна тыңайтқыш пайдаланылып, жоспар 102%-ға орындалды, сондай-ақ 66 млрд теңгеге 2,3 мың бірлік ауыл шаруашылығы техникасы сатып алынды.

Мемлекеттік қолдау шаралары аграрлық сектордың дамуына елеулі серпін берді. Жеңілдетілген қаржыландыру көлемі рекордтық 161 млрд теңгеге жетті. Мемлекет басшысының тапсырмалары аясында суармалы жерлердің көлемі 2,1 мың гектарға ұлғайып, 11,5 мың гектарды құрады. Суды үнемдеу технологиялары дөңді дақылдармен қатар картоп, қант қызылшасы, жүгері және өзге де дақылдарды өсіруде кеңінен қолданылуда.

Аграрлық секторды дамытуға параллель түрде облыста мал шаруашылығы саласында да елеулі нәтижелерге қол жеткізілді. Бұл көрсеткіштер фермаларды жаңғырту, озық технологияларды енгізу және мал басын ұлғайту арқылы қамтамасыз етілді. Нәтижесінде ет өндірісі 68,5 мың тоннаны, сүт өндірісі 334,9 мың тоннаны, ал жұмыртқа өндірісі 530 млн дананы құрады.

Сүт шаруашылығы бағыты облыста қарқынды дамып келеді. Солтүстік Қазақстан облысы заманауи сүт-тауар фермаларын енгізу бойынша республикада көшбасшы орынға ие. Өңірде 110 сүт-тауар фермасы жұмыс істейді, бұл Қазақстандағы барлық 373 ферманың шамамен 30%-ын құрайды. 2023-2024 жылдары республикада салынған 58 жаңа сүт-тауар фермасының 21-і осы облыста іске асырылды. 2025 жылы қосымша 8 заманауи кешенді пайдалануға беру жоспарлануда.

Облыста сүт шаруашылығы саласында екі ірі инвестициялық жоба жүзеге асырылуда. Атап айтқанда, «Зенченко және К» командиттік серіктестігі 8 мың басқа арналған, тоқсан орындық «Карусель» сауу қондырғысымен жабдықталған ферма салуда. Бұл шаруашылық елдегі үздік он агроқұрылымның қатарына кіріп, сүт сауу өнімділігі бойынша Қазақстанда бірінші орын алады.

Сонымен қатар, Мағжан Жұмабаев ауданында «СК Агро» серіктестігі 10 000 басқа арналған, 100 бас сиырға есептелген «Карусель» типті бірегей сауу қондырғысы бар Орталық Азиядағы ең ірі сүт фермасын салуда. Аталған екі жоба бойынша сүт өндірісінің жылдық өсімі 68 мың тоннаны құрайды, бұл ірі агроқұрылымдар өндіретін сүттің үлесін 70%-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді.

Халықаралық тәжірибемен салыстырғанда, Беларусь Республикасында заманауи фермалар сүт өндірісінің 77%-ын, Қытайда 70%-дан астамын, ал Еуропа елдерінде 93%-дан астамын қамтамасыз етеді. Жобаларды іске асыру Солтүстік Қазақстан облысының позициясын күшейтіп, оның республикалық сүт өндірісіндегі үлесін 20%-ға дейін жеткізуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, өңірде ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеу бағытында бірқатар маңызды жобалар іске асырылуда. Қуаттылығы жылына 370 мың тонна майлы дақылдарды өңдеуге және 120 мың тонна дайын өнім өндіруге мүмкіндік беретін «МаслоДел» май экстракциялық зауыты жұмыс істеп тұр, оның өнімдерінің басым бөлігі экспортқа бағытталған.

«Eurasian Milk» серіктестігінде қоюландырылған сүт өндіретін цехтың құрылысы аяқталып, кәсіпорынның өндірістік қуаты жылына 92 мың тоннаға дейін артты, сондай-ақ жаңа жұмыс орындары құрылды.

Агроөнеркәсіп кешенінде инновациялық бағыттар да дамып келеді. «Север Агро LTD» серіктестігінде күшім тұқымындағы 400 биеге арналған құрғақ бие сүтін өндіру фермасы іске қосылды. Бұл жоба Қазақстан аумағында жүзеге асырылған осындай екінші өндіріс нысаны болып табылады.

Өңірде қант қызылшасын өсіру жобалары жалғасуда. «Asyl Farms» серіктестігінің тәжірибелік егістері дақылдың табиғи-климаттық жағдайларға жоғары бейімделу қабілетін көрсетті. Қанттылық деңгейі 20%-ға жетіп, бұл көрсеткіш үздік еуропалық сорттардың деңгейімен теңесті. Қуаттылығы жылына 1 млн тонна шикізатты өндеп, 200 мың тоннаға дейін қант өндіруге арналған зауыт салу жоспарлануда, бұл импортқа тәуелділікті қысқартып, азық-түлік қауіпсіздігін нығайтуға ықпал етеді.

Қызылжар ауданындағы «Salar Farm» серіктестігінде жылына 60 мың тонна түйіршік жоңышқа өңдейтін зауыт салу жобасы жүзеге асырылуда. Өндірілетін өнімдер Қытай және Орталық Азия елдеріне экспорттауға бағытталған. Нысанды 2026 жылы пайдалануға беру көзделіп отыр.

Жасанды интеллект технологияларын енгізу ауыл шаруашылығының барлық негізгі өндірістік процестерін қамтуда. «Ақылды фермалар» және жасанды интеллектке негізделген аналитикалық жүйелер егістікті дәл басқаруға, малды бақылауға және өндірістік шығындарды оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Қазіргі кезеңде Солтүстік Қазақстан облысы қуатты ауыл шаруашылығымен қатар, қарқынды дамып келе жатқан өнеркәсіптік секторымен де ерекшеленеді. Өңір экономикасында өнеркәсіп маңызды орын алады. Соңғы екі жыл ішінде өнеркәсіп өндірісінің көлемі 1,5 есеге өсті. Бұл өсім өнеркәсіп кәсіпорындарының тапсырыстар портфелінің 210,1 млрд теңгеден 300,7 млрд теңгеге дейін, яғни 1,5 есеге артуы есебінен қамтамасыз етілді. Өнеркәсіп құрылымында негізгі драйвер болып табылатын сала – өңдеу өнеркәсібі, оның үлесі 86%-ды құрайды [14].

Өсім қолданыстағы өндірістерді жаңғырту және жаңа өндірістік қуаттарды іске қосу арқылы қамтамасыз етілді. Мәселен, «ЗИКСТО» жауапкершілігі шектеулі серіктестігі жолаушылар вагондары мен вагон-платформалар өндіретін жаңа зауытты іске қосты. Жобаның инвестициялық көлемі 24,3 млрд теңгені құрайды, ал жылдық өндірістік қуаты 3 200 бірлікті құрайды. Қазіргі уақытта облыста өндірілген вагондар республика аумағындағы теміржол желілерінде пайдаланылуда.

Өңірдің агроөнеркәсіптік әлеуетінің артуын ескере отырып, Үкіметтің шешімімен арнайы экономикалық аймақтың географиясы кеңейтіліп, облыстың ауылдық аудандарында екі жаңа субаймақ құрылды.

Осылайша, 2025 жылдың қорытындысы бойынша Солтүстік Қазақстан облысының әлеуметтік-экономикалық даму динамикасы (3-кесте) айтарлықтай оң үрдістермен сипатталады.

3-кесте – 2025 жылдың қорытындысы бойынша Солтүстік Қазақстан облысының әлеуметтік-экономикалық даму көрсеткіштері

Көрсеткіш	Мәні	Сипаттамасы
Қысқа мерзімді экономикалық индикатор (ҚМЭИ)	+13%	Өңір республикалық деңгейде экономикасы қарқынды дамып келе жатқан алғашқы бестікке енді
Ауыл шаруашылығы	+9,3%	Аграрлық сектордың тұрақты дамуы, өңірдің негізгі мамандануына сәйкес
Өнеркәсіп	+19,1%	Өңдеу және өндірістік белсенділіктің айтарлықтай артуы

Құрылыс	+30,1%	Инфрақұрылымдық және инвестициялық жобалардың белсенді іске асырылуы
Тұрғын үйді пайдалануға беру	+3,9%	Тұрғын үй құрылысының бірқалыпты өсуі
Инвестициялар көлемі	+7,3%	Өңірдің инвестициялық тартымдылығының артуы
Жалпы экономикалық үрдіс	Оң	Экономиканың құрылымдық әртараптандырылуы және өндірістік белсенділіктің күшеюі
Қазақстан Республикасының Ұлттық статистика бюросы дерегі негізінде авторлар құрастырған [12]		

Бұл кестеде көрсетілген деректер демографиялық шектеулерге қарамастан, Солтүстік Қазақстан облысында өндірістік, инвестициялық және салалық дамудың оң серпінмен жүргенін дәлелдейді. Экономикалық өсімнің бірнеше салада қатар байқалуы өңірлік дамудың кешенді әрі орнықты сипатын көрсетіп, еңбек ресурстарының қысқаруы мен халық санының төмендеуі жағдайында да экономиканың бейімделу қабілетінің жоғары екенін айқындайды. Аталған үрдістер өңірдің экономикалық тұрақтылығын қамтама-сыз ететін базалық салалардың, ең алдымен аграрлық сектордың шешуші рөлін алға шығарады.

Осы тұрғыдан алғанда, **FAO әдістемесіне сәйкес азық-түлік қауіпсіздігінің қолжетімділік (availability)** өлшемі өңірдің азық-түлік өнімдерін өндіру қабілетімен, ішкі нарықты тұрақты қамтамасыз ету мүмкіндігімен және өндірістің технологиялық деңгейімен тікелей байланысты. Солтүстік Қазақстан облысының аграрлық әлеуеті бұл талаптарға айтарлықтай дәрежеде жауап береді және республикада-ғы ең жоғары көрсеткіштердің бірі болып табылады. Ауыл шаруашылығы өңір экономикасының базалық саласы ретінде жалпы өңірлік өнімнің шамамен төрттен бір бөлігін құрай отырып (2024 жылы – 23,4%), облыстың ұлттық азық-түлік жүйесіндегі стратегиялық рөлін айқын көрсетеді.

2025 жылы жалпы ауыл шаруашылығы өнімінің көлемі 878,3 млрд теңгеге жетіп, Солтүстік Қазақ-стан облысын республика бойынша азық-түлік өндіретін жетекші үш өңірдің қатарына енгізді. Бұл көрсеткіш тек өндіріс көлемінің артуымен ғана емес, сонымен қатар өндірістің құрылымдық тиімділігімен және технологиялық жаңаруымен ерекшеленеді. Өңірде өсімдік шаруашылығы айрықша дамыған: 4,3 млн гектар егіс алқабынан 6,5 млн тонна астық жиналып, орташа өнімділік гектарына 21 центнерді құрады. Жекелеген шаруашылықтарда өнімділіктің гектарына 60 центнерге дейін жетуі агротехноло-гиялардың, элиталық тұқым сорттарының және цифрлық басқару құралдарының тиімді енгізілгенін көрсетеді.

Майлы дақылдар өндірісі де айтарлықтай серпін алды. Өндіріс көлемі 1,2 млн тоннаға жетіп, бұл тарихи максимум ретінде тіркелді, ал орташа өнімділік гектарына 12 центнерді құрады. Майлы дақылдар алқабының 1 млн гектарға дейін ұлғаюы Солтүстік Қазақстан облысын елдегі негізгі майлы дақылдар өндіруші өңірге айналдырды. Бұл фактор FAO-ның қолжетімділік өлшемі тұрғысынан өңірдің ішкі нарықты ғана емес, экспорттық сұранысты да қанағаттандыру әлеуетінің жоғары екенін дәлелдейді.

Мал шаруашылығы саласында да азық-түлік қауіпсіздігі үшін маңызды нәтижелерге қол жеткізілді. 2025 жылы өңірде 334,9 мың тонна сүт, 68,5 мың тонна ет және 530 млн дана жұмыртқа өндірілді. Өсіресе сүт шаруашылығының қарқынды дамуы өңірдің азық-түлік базасын нығайтуда маңызды рөл атқаруда. Солтүстік Қазақстан облысында 110 заманауи сүт-тауар фермасы жұмыс істейді, бұл республикадағы барлық осындай нысандардың шамамен 30%-ын құрайды. Жаңа инвестициялық жобалардың іске асырылуы нәтижесінде сүт өндірісінің жылдық көлемі алдағы кезеңде одан әрі ұлғаяды деп күтілуде, бұл өңірдің республикалық сүт өндірісіндегі үлесін 20%-ға дейін жеткізуге мүмкіндік береді.

Азық-түлік қолжетімділігін қамтамасыз етуде ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеу саласы-ның дамуы да ерекше маңызға ие. Өңірде іске қосылған және жұмыс істеп тұрған қайта өңдеу кәсіпорын-дары азық-түлік өнімдерінің қосылған құнын арттыруға және өндірістің маусымдық тәуекелдерін төмен-детуге мүмкіндік береді. Мәселен, «МаслоДел» май экстракциялық зауыты жылына 370 мың тонна майлы дақылдарды өңдеп, 120 мың тоннаға дейін дайын өнім өндіруге қабілетті. «Eurasian Milk» серік-тестігінде іске қосылған қоюландырылған сүт өндіру цехы кәсіпорынның жылдық қуатын 92 мың тоннаға дейін арттырып, өңірдің сүт өнімдері бойынша өндірістік әлеуетін күшейтті.

FAO әдістемесінің қолжетімділік (availability) өлшемі тұрғысынан Солтүстік Қазақстан облысы азық-түлік қауіпсіздігінің жоғары деңгейімен сипатталады. Өңірдің өндірістік әлеуеті ішкі сұранысты толық қамтамасыз етіп қана қоймай, экспорттық бағытты дамытуға мүмкіндік береді. Алайда, өндіріс көлемінің өсуі азық-түлік қауіпсіздігінің барлық аспектілерін автоматты түрде шешпейді. Бұл мәселе экономикалық қолжетімділік (access), пайдалану (utilization) және тұрақтылық (stability) сияқты басқа өлшемдер бойынша терең талдауды қажет етеді.

Соның ішінде **FAO әдістемесінде экономикалық және физикалық қолжетімділік (access) өлшемі** халықтың тағам өнімдерін нақты сатып алу және тұтыну мүмкіндігін сипаттайды. Бұл өлшем өндіріс көлемінен гөрі табыс деңгейі, баға тұрақтылығы, нарыққа қол жеткізу жағдайлары және әлеумет-тік теңсіздік факторларымен тығыз байланысты. Солтүстік Қазақстан облысының қазіргі әлеуметтік-экономикалық жағдайында бұл өлшем күрделі әрі қайшылықты сипатқа ие болып, өндірістік әлеуеттің өсуі мен халықтың нақты сатып алу қабілеті арасында белгілі бір дисбаланс бар екенін көрсетеді.

2025 жылы өңір экономикасының негізгі салаларында айтарлықтай өсім тіркелгеніне қарамастан, азық-түлікке экономикалық қолжетімділік барлық тұрғындар үшін бірдей деңгейде қамтамасыз етілмеген [14]. Ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіп өндірісінің кеңеюі, инвестициялық белсенділіктің артуы және экспорттық әлеуеттің күшеюі халықтың нақты сатып алу қабілетіне толық көлемде ықпал ете алмай отыр. Бұл өңірде ғылыми әдебиеттерде сипатталатын «табыс–баға парадоксының» айқын көрініс табуын білдіреді: өндірістік өсім мен экспорт көлемі ұлғайған сайын, ішкі нарықтағы баға тұрақтылығы әлсіреп, әлеуметтік осал топтар үшін азық-түлікке қолжетімділік шектеле түседі.

Аталған парадокстың негізгі факторларының бірі – Солтүстік Қазақстан облысының шекаралық нарықтық ерекшелігі. Өңірдің Ресей Федерациясымен ұзақ шекаралас орналасуы азық-түлік нарығын трансшекаралық сауда ағындарына және сыртқы баға конъюнктурасына жоғары деңгейде тәуелді етеді. Әсіресе қант, өсімдік майы, жеміс-көкөніс өнімдерінің жекелеген түрлері мен қайта өңделген азық-түлік тауарлары Ресей нарығындағы баға динамикасына және рубль бағамының ауытқуына тікелей байланысты қалыптасады. Валюталық тәуекелдердің күшеюі импортталатын өнімдердің өзіндік құнын арттырып, ішкі нарықтағы бағаның құбылмалылығын күшейтеді.

Бұл үрдістер шекара маңындағы Қызылжар, Жамбыл, Мамлют, Мағжан Жұмабаев, Шал ақын, Ғабит Мүсірепов атындағы және Уәлиханов аудандарында ерекше байқалады. Аталған аумақтарда азық-түлік бағаларының облыс ішіндегі айырмашылығы жоғары болып, бірқатар негізгі тауарлар бойынша көршілес елдермен айқын баға диспропорциясы қалыптасқан. Мұндай жағдайда тұтынушылардың бір бөлігі арзандау өнімдерді сыртқы нарықтан сатып алуға ұмтылады, ал бұл өз кезегінде ішкі нарықтағы баға теңгерімсіздігін күшейтеді. Нәтижесінде өңір ішінде азық-түлік бағаларының аумақтық дифференциациясы тереңдеп, физикалық қолжетімділік те біркелкі сипатқа ие болмайды. Бұл жағдай FAO-ның access өлшемі тұрғысынан азық-түлік қауіпсіздігінің осал тұстарын айқын көрсетеді.

Сонымен қатар, өңірдің аграрлық өнімдерін экспортқа бағыттау үрдісі экономикалық қолжетімділікке қосымша қысым жасайды. Солтүстік Қазақстан облысында іске асырылып жатқан бірқатар инвестициялық жобалар, атап айтқанда «Salar Farm» серіктестігінің түйіршік жоңышқа өндіру зауыты мен «Asyl Farms» қант қызылшасын өсіру жобалары өнімнің елеулі бөлігін Қытай және Орталық Азия елдерінің нарықтарына экспорттауға бағдарланған. Экспорттық сұраныстың артуы – ішкі нарықтағы ұсыныстың салыстырмалы түрде қысқаруына және бағаның өсу тәуекеліне алып келеді, бұл әсіресе төмен және орта табыс топтары үшін азық-түлікке экономикалық қолжетімділікті шектейтін фактор ретінде көрінеді.

Солтүстік Қазақстан облысында FAO-ның экономикалық және физикалық қолжетімділік (access) өлшемі өндірістік әлеуеттің жоғары деңгейіне қарамастан әлсіздеу күйде қалып отыр. Өңірде азық-түлік жеткілікті көлемде өндірілгенімен, шекаралық нарықтарға тәуелділік, валюталық тәуекелдер және экспорттық бағдарлану халықтың нақты сатып алу қабілетіне теріс әсер етеді. Бұл табыс – баға парадоксы өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету барысында өндірістік өсіммен қатар, баға тұрақтылығын сақтау және әлеуметтік қолжетімділікті арттыруға бағытталған мемлекеттік саясаттың маңыздылығын айқындайды.

Осыған байланысты, азық-түлік қауіпсіздігінің **FAO әдістемесінде келесі негізгі өлшемі – пайдаланылуы (utilization)** – өңірдің азық-түлік өнімдерінің сапасын, тағамдық құндылығын, санитарлық қауіпсіздігін, сондай-ақ сақтау, өңдеу және тарату инфрақұрылымының даму деңгейін бағалауға мүмкіндік береді. Бұл өлшем халықтың тек өнімді сатып алу қабілетімен ғана емес, сапалы және қауіпсіз тағамды тұтыну мүмкіндігімен қамтамасыз етілуін көрсетеді. Солтүстік Қазақстан облысында бұл көрсеткіштер әдетте жоғары бағаланып, өңірдің өндірістік әлеуетін тиімді пайдаланудың маңызды құрамдас бөлігі ретінде әлеуметтік қорғалғандығын айқындаса да, табиғи апаттар мен екпіндер *utilization* өлшемінің тұрақтылығына қосымша қысым түсіруі мүмкін.

Солтүстік Қазақстан облысында 2024 жылғы көктемгі су тасқыны табиғи-гидрологиялық қысымның ауыл шаруашылығы мен азық-түлік жүйесіне әсерін айқын көрсетті: қардың тез еруі мен ерте жылы ауа-райы нәтижесінде өңірде өзендерден су асқаны көптеген тұрғын үй мен ауылшаруашылық нысандарын су астында қалдырды, экстрен эвакуация мен инфрақұрылымның бұзылуына жол ашты, соның ішінде ауылшаруашылық алқаптары мен тасымалдау бағыттары да әсер көрді. Бұл тасқындар нәтижесінде мыңдаған адам қауіпсіз аймақтарға көшірілді, ал мал мен егістікке қатысты нақты шығындар әлі толық есептеліп жатыр, алайда ауыл шаруашылығы секторына айтарлықтай қысым түскені байқалады. Атап айтқанда, тасқын суы астында қалған ауылшаруашылық аймақтарында егістік материалдар мен зерде қоймаларының зақымдануы, сондай-ақ талқандалған инфрақұрылым фермерлердің дақылдарды уақытында өңдеу мен сақтау қабілетіне кері әсер етті, бұл өңірдің азық-түлік өнімдерінің *utilization* көрсеткіштеріне қысқа мерзімді ауыртпашылықтар тудырды.

Максималды жауын-шашын мен қардың тез еруі 2025 жылғы көктемде де сақталды, бұл гидрологиялық режимнің өзгергенін көрсетіп, кейбір су деңгейі бақылау нүктелерінде жоғарылау байқалды. Бұл СҚО-ның азық-түлік жүйесіне және өндірістік инфрақұрылымға қысқа мерзімді тәуекелдерді күшейтті, әсіресе ауылшаруашылық өндірушілердің көктемгі егіс жоспарларын орындауға әсер етті.

2024 жылғы тасқын салдарынан көптеген егістік алқаптары мен қойма орындары сумен жабылды немесе тасқын қалдықтарының әсерінен зақымданды, бұл өңірдің диқандары үшін тұқым материалдарын, сақталған өнімдерді және өндірістік ресурстарды қайта қалпына келтіру қажеттілігін туғызды.

Мұндай жағдайлар фермерлердің өндірістік қауіпсіздігі мен ауылшаруашылық өнімді қайта өңдеу мүмкіндіктеріне кері әсерін тигізді, нәтижесінде өңделген өнім көлемі қысқарды немесе өндірістік циклдерге кешігу енгізілді. Бұл ауыл шаруашылығы өнімдерін сақтау, өңдеу және тарату инфрақұрылымының тұрақтылығы мен тиімділігін төмендетіп, *utilization* өлшемінің кейбір көрсеткіштеріне қысқа мерзімді нашарлауға әкелді.

Өңірде соңғы жылдары аграрлық өндірістің технологиялық жаңғыруы азық-түлік өнімдерінің сапасын арттыруға және пайдаланылу тиімділігін жақсартуға айтарлықтай әсер етті. Заманауи агротехнологияларды енгізу, элиталық тұқым сорттарын пайдалану және тыңайтқыштарды ғылыми негізде қолдану нәтижесінде өнімнің тағамдық және нарықтық сапасы жақсарды. 2025 жылы егіс жұмыстарына 340 мың тонна тыңайтқыш пайдаланылып, жоспардың 102 %-ға орындалуы ауыл шаруашылығы өндірісіндегі агрохимиялық қамтамасыз етудің жоғары деңгейін көрсетеді. Сонымен қатар, 66 млрд теңгеге 2,3 мың бірлік ауыл шаруашылығы техникасының сатып алынуы өндірістік процестердің тиімділігін арттырып, өнімнің жоғалуын азайтуға мүмкіндік берді [14].

Азық-түлік пайдаланылуы тұрғысынан мал шаруашылығы саласындағы инновациялық жобалардың маңызы ерекше. Солтүстік Қазақстан облысында іске асырылып жатқан заманауи сүт-тауар фермалары, оның ішінде «Карусель» типті сауу қондырғыларымен жабдықталған ірі кешендер, өндірістік процестердің санитарлық қауіпсіздігін қамтамасыз етіп, сүт өнімдерінің сапасын халықаралық стандарттарға жақындатуда. Мұндай технологиялар сүттің микробиологиялық тазалығын сақтауға, өнімділікті арттыруға және өңдеуге жарамдылық деңгейін көтеруге мүмкіндік береді. Нәтижесінде, өңірде өндірілетін сүт өнімдерінің тағамдық құндылығы артып, ішкі және сыртқы нарықтарда бәсекеге қабілеттілігі күшейеді.

Азық-түліктің пайдаланылуын арттыруда қайта өңдеу инфрақұрылымының дамуы да шешуші рөл атқарады. Өңірде майлы дақылдарды, сүтті, қант қызылшасын және мал азығын қайта өңдеуге бағытталған кәсіпорындардың іске қосылуы азық-түлік өнімдерінің сақтау мерзімін ұзартуға және маусымаралық тапшылық тәуекелдерін азайтуға мүмкіндік береді. Мәселен, «МаслоДел» май экстракциялық зауыты мен «Eurasian Milk» серіктестігінің қайта өңдеу қуаттары өнімнің қосылған құнын арттырып қана қоймай, азық-түліктің стандартталған, қауіпсіз және тұтынуға дайын күйде жеткізілуін қамтамасыз етеді. Қант қызылшасын өңдеу және түйіршік жоңышқа өндіру жобалары да өңірдің азық-түлік жүйесінде ресурстарды тиімді пайдалануға және жанама өнімдерді ауыл шаруашылығында қайта қолдануға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, логистикалық және сақтау инфрақұрылымының дамуы азық-түлік қауіпсіздігінің *utilization* өлшемін күшейтеді. Заманауи қоймалар, салқындату жүйелері және өңдеу кәсіпорындарының ауылдық аумақтарға жақын орналасуы өнімнің жоғалуын азайтып, халыққа сапалы азық-түлікті үздіксіз жеткізуге жағдай жасайды. Бұл әсіресе климаттық жағдайы күрделі өңір үшін маңызды, себебі ұзақ қыс кезеңінде азық-түлік сапасын сақтау *utilization* өлшемінің негізгі талаптарының бірі болып табылады.

Осылайша, Солтүстік Қазақстан облысында FAO-ның пайдаланылуы (*utilization*) өлшемі агротехнологиялық жаңғыру, қайта өңдеу инфрақұрылымының дамуы және өндірістік процестердің санитарлық қауіпсіздігін қамтамасыз ету арқылы жоғары деңгейде қалыптасқан. Алайда 2024 және 2025 жылғы көктемгі су тасқындарының ауылшаруашылық инфрақұрылымына, егістік материалдарына және сақтау-өңдеу жүйелеріне тигізген әсері азық-түлік өнімдерінің пайдаланылуына қатысты қосымша тәуекелдерді көрсетті. Бұл жағдай *utilization* өлшемінің тұрақты сақталуын инфрақұрылымды одан әрі жетілдірумен және апатқа қарсы дайындықты күшейтумен үйлестірілген кешенді саясатты талап етеді.

Зерттеуде көрсетілгендей Солтүстік Қазақстан облысының әлеуметтік-экономикалық дамуы мен азық-түлік қауіпсіздігі өзара тығыз байланысты көпқырлы жүйе ретінде қалыптасқан. Өңірдің шекаралық орналасуы, аграрлық мамандануы, демографиялық динамикасы және климаттық жағдайлары азық-түлік қауіпсіздігінің барлық негізгі өлшемдеріне бір мезгілде әсер ететін құрылымдық факторлар жиынтығын құрайды. Бұл факторлар бір-бірін толықтырып қана қоймай, кей жағдайларда өзара қайшылыққа да түсіп, өңірлік даму моделінің ішкі осал тұстарын айқындап отыр.

Жалпы, Солтүстік Қазақстан облысында азық-түлік қауіпсіздігі өндірістік әлеуеттің жоғары деңгейімен сипатталғанымен, оның әлеуметтік және экономикалық қолжетімділік өлшемдері біркелкі дамымаған. Өңір ауыл шаруашылығы өнімінің жалпы көлемі 878,3 млрд теңгеге жетуі арқылы республиканың негізгі астық және майлы дақылдар өндіруші аймақтарының бірі ретінде ұлттық азық-түлік қауіпсіздігіне стратегиялық үлес қосып отыр. Астық өндірісінің 6,5 млн тонна деңгейінде қалыптасуы ішкі қажеттілікті толық қамтамасыз етіп қана қоймай, экспорттық әлеуетті де айқындайды. Алайда өндіріс көлемінің өсуі халықтың барлық әлеуметтік топтары үшін азық-түлікке тең әрі тұрақты қолжетімділікті автоматты түрде қамтамасыз етпейді. Бұл жағдай азық-түлік қауіпсіздігінің тек өндірістік емес, әлеуметтік-экономикалық санат екенін тағы да дәлелдейді.

Өңірдің шекаралық орналасуы азық-түлік нарығының қалыптасуында айрықша рөл атқарады. Ресей Федерациясымен ұзақ шекара Солтүстік Қазақстан облысының ішкі нарығын трансшекаралық сауда ағындарына тәуелді етеді. Валюта бағамдарының ауытқуы, көршілес елдегі баға конъюнктурасы және импорттық өнімдердің арзандауы ішкі нарықтағы баға қалыптасу тетіктеріне тікелей ықпал етеді. Нәтижесінде жергілікті өндіріс көлемі жоғары болғанына қарамастан, ішкі нарықтағы баға тұрақтылығы жиі бұзылып, халықтың экономикалық қолжетімділігі әлсірейді. Азық-түлік бағасының жылдық өсімінің

9-11% аралығында сақталуы, ал нақты табыстардың төмендеуі бұл үдерістің жүйелік сипат алғанын көрсетеді. Осылайша, өңірде табыс – баға парадоксы айқын көрініс табады.

Демографиялық ахуал азық-түлік қауіпсіздігіне әсер ететін маңызды құрылымдық факторлардың бірі болып отыр. Соңғы жылдары Солтүстік Қазақстан облысында халық саны 514,7 мың адамға дейін қысқарып, көші-қонның теріс сальдосы -6203 адамды құрады. Бұл үрдістер еңбек ресурстарының азаюына әкеліп, аграрлық өндірістің ұзақ мерзімді тұрақтылығына тәуекел тудырады. Ауылдық аумақтарда жастардың жаппай көші-қоны еңбек сыйымдылығы жоғары салалардың дамуын тежеп, өндірістік әлеуеттің сапалық жаңаруын шектеп келеді. Сонымен қатар, халық тығыздығының төмендігі логистикалық шығындарды арттырып, азық-түлік өнімдерінің түпкілікті бағасына қосымша қысым жасайды.

Әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштерге талдау өңір экономикасының екіұдай сипатын айқындайды. Бір жағынан, ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіп салаларында өндірістік өсім байқалып, инвестициялық белсенділік артуда. Екінші жағынан, нақты ақшалай табыс индексінің 91,9%, ал нақты жалақы индексінің 98,1% деңгейінде қалыптасуы халықтың сатып алу қабілетінің әлсірегенін көрсетеді. Өмір сүру құнының өсуі мен әлеуметтік инфрақұрылымның аумақтық теңсіздігі азық-түлікке экономикалық қолжетімділікті шектейтін факторлар ретінде сақталып отыр. Бұл қайшылық өңірлік азық-түлік қауіпсіздігінің әлеуметтік өлшемін әлсіретіп, уязвим әлеуметтік топтар үшін тәуекел деңгейін арттырады.

Климаттық факторлар Солтүстік Қазақстан облысында азық-түлік қауіпсіздігінің тұрақтылық өлшеміне тікелей әсер етеді. Қатаң континенттік климат, қысқа вегетациялық кезең және жауын-шашын мөлшерінің жыл сайынғы ауытқуы ауыл шаруашылығы өндірісін табиғи тәуекелдерге тәуелді етеді. Соңғы жылдары өнімділіктің жыл сайын 10-15% аралығында құбылуы климаттық факторлардың өндірістік нәтижелерге әсерінің күшейгенін аңғартады. Дегенмен, заманауи агротехнологияларды, цифрлық шешімдерді және жасанды интеллект элементтерін енгізу климаттық тәуекелдердің бір бөлігін бейтараптандыруға мүмкіндік беріп отыр, бұл өңірлік бейімделу әлеуетінің бар екенін көрсетіп отыр.

Азық-түлік қауіпсіздігінің FAO ұсынған төрт өлшемі тұрғысынан қарастырғанда, Солтүстік Қазақстан облысында availability көрсеткіші салыстырмалы түрде жоғары деңгейде қалыптасқан. Өндіріс көлемі ішкі қажеттіліктен асып түсіп, экспорттық бағыттылықты қамтамасыз етеді. Алайда access өлшемі әлеуметтік-экономикалық және шекаралық факторлардың ықпалымен әлсіз болып отыр. Utilization өлшемі қайта өңдеу саласының дамуына байланысты біртіндеп жақсарғанымен, инфрақұрылым мен логистикадағы теңсіздік оның әлеуетін толық ашуға мүмкіндік бермейді. Stability өлшемі климаттық және нарықтық тәуекелдерге тәуелді күйінде қалып отыр.

Жалпы алғанда, Солтүстік Қазақстан облысының азық-түлік қауіпсіздігі өндірістік тұрғыдан мықты, бірақ әлеуметтік және институционалдық тұрғыдан теңгерімсіз модельге негізделген. Өңірдің аграрлық әлеуеті ұлттық деңгейде стратегиялық маңызға ие болғанымен, ішкі нарықтағы әлеуметтік қолжетімділік пен ұзақ мерзімді тұрақтылық мәселелері толық шешімін таппаған. Бұл жағдай өңірлік азық-түлік саясатын тек өндірісті ұлғайтуға ғана емес, табыс деңгейін арттыру, әлеуметтік инфрақұрылымды дамыту және шекаралық тәуекелдерді басқару тетіктерін жетілдіруге бағыттау қажеттігін көрсетеді.

Осылайша, Солтүстік Қазақстан облысында азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесінің көпфакторлы және кешенді сипатқа ие екенін дәлелдеп отыр. Өңірлік азық-түлік қауіпсіздігі экономикалық өсім көрсеткіштерімен ғана емес, демографиялық тұрақтылық, әлеуметтік теңдік, климатқа бейімделу және трансшекаралық нарықтық тәуелділік деңгейімен айқындалады.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу Солтүстік Қазақстан облысында азық-түлік қауіпсіздігі мәселесінің шекаралық өңірге тән әлеуметтік-экономикалық, демографиялық және инфрақұрылымдық факторлармен тығыз байланысты көпқырлы жүйе екенін көрсетіп отыр.

Зерттеу нәтижелері Солтүстік Қазақстан облысының өндірістік әлеуеті жоғары, ұлттық азық-түлік қауіпсіздігі үшін стратегиялық маңызы бар өңір екенін растады. Алайда бұл әлеует өңір тұрғындары үшін азық-түлікке нақты қолжетімділікті қамтамасыз етуде жеткіліксіз болып отыр. Өңірде азық-түлік бағалары ірі мегаполистер деңгейіне жақындағанымен, халықтың табыс деңгейі салыстырмалы түрде төмен күйінде қалып отыр. Бұл жағдай азық-түлік қауіпсіздігінің экономикалық қолжетімділік өлшемін әлсіретіп, өңірлік әлеуметтік теңсіздікті күшейтіп келеді.

Зерттеу барысында анықталған маңызды мәселелердің бірі – ауылдық аудандарда жұмыс орындарының салыстырмалы түрде жеткілікті болуына қарамастан, жастардың бұл аумақтарға баруға құлықсыздығы. Бұл үрдіс тек жалақы деңгейімен ғана емес, әлеуметтік инфрақұрылымның әлсіздігімен, өмір сүру сапасының төмендігімен және аумақтық оқшауланумен тікелей байланысты. Аудандар арасындағы үлкен қашықтық, көлік инфрақұрылымының дамымауы және қыс мезгілінде жолдардың жиі жабылуы облыс және аудан орталықтарына қолжетімділікті күрделендіріп, тұрғындар үшін әлеуметтік қызметтерге, медициналық көмекке және нарыққа шығуды едәуір қиындатады. Бұл факторлар азық-түлік өнімдерінің логистикасын қымбаттатып, түпкілікті бағаға қосымша қысым түсіреді.

Сондай-ақ, Солтүстік Қазақстан облысында көп жылдан бері талқыланып келе жатқан «солтүстік коэффиценті» (солтүстік надбавка) мәселесінің шешімін таппауы өңірдің еңбек тартымдылығын төмендетіп отыр. Климаттық қолайсыздықтар мен өмір сүру шығындарының жоғары деңгейі жағдайында бұл тетіктің іске аспауы еңбек ресурстарын ұстап қалуға және жаңа кадрларды тартуға кедергі келтіреді. Нәтижесінде өңірдегі еңбек бағдарламалары мен мемлекеттік қолдау шаралары болғанымен, олардың тиімділігі шектеулі күйінде қалып отыр.

Сонымен қатар, өңірде еңбек ресурстарын тартуға бағытталған мемлекеттік бағдарламалардың іске асырылуына қарамастан, Солтүстік Қазақстан облысының шекаралық орналасуы оны сыртқы экономикалық және нарықтық факторларға тәуелді етеді. Трансшекаралық сауда, көршілес елдердегі баға саясаты, валюта бағамдарының ауытқуы және импорттық өнімдердің қолжетімділігі ішкі азық-түлік нарығының тұрақтылығын әлсіретіп, өңірлік саясаттың нәтижелілігін төмендетеді. Бұл жағдай азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуде ішкі ресурстармен қатар сыртқы тәуекелдерді басқарудың маңызын арттырады анық.

Осы нәтижелерді жинақтай отырып, зерттеуде «өндірістік әлеуеті жоғары, бірақ әлеуметтік қолжетімділігі шектеулі шекаралық өңір» атты авторлық модель ұсынылды. Бұл модель шекаралық өңірлерде азық-түлік қауіпсіздігі өндіріс көлемімен емес, әлеуметтік қолжетімділік, институционалдық бейімделу және аумақтық тұтастық деңгейімен айқындалатынын көрсетеді. Модель FAO ұсынған availability, access, utilization және stability өлшемдерін шекаралық, демографиялық және инфрақұрылымдық факторлармен толықтырып, өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін бағалаудың кеңейтілген ғылыми негізін қалыптастырады.

Зерттеу нәтижелері негізінде Солтүстік Қазақстан облысы үшін азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған бірқатар практикалық ұсыныстар әзірленді. Атап айтқанда:

- Азық-түлік бағасын өңірлік табыс деңгейіне бейімдеу үшін субсидиялар мен логистикалық шығындарды өтеу механизмін енгізу;

- Солтүстік коэффициентін қайта қарау немесе климаттық-аумақтық үстемесі енгізу арқылы еңбек тартымдылығын арттыру;

- Жастарды ауылдық және шекаралық аудандарға тартуға арналған кешенді әлеуметтік пакеттер, ұзақ мерзімді жалдамалы тұрғын үй бағдарламалары және мансаптық өсу траекторияларын қалыптастыру;

- Көлік және логистика инфрақұрылымын азық-түлік қауіпсіздігінің бөлігі ретінде дамыту, резервтік логистикалық схемаларды қалыптастыру;

- Шекаралық тәуекелдерді басқарудың институционалдық механизмін енгізу, баға мониторингі және өңірлік тұрақтандыру қорларын күшейту;

- Еңбек бағдарламаларын шекаралық және климаттық ерекшеліктерге бейімдеу.

Жалпы алғанда, зерттеу Солтүстік Қазақстан облысында азық-түлік қауіпсіздігі өндірістік тұрғыдан мықты, бірақ әлеуметтік, аумақтық және институционалдық тұрғыдан теңгерімсіз модельге негізделгенін дәлелдеді. Бұл теңгерімсіздік азық-түлік бағасының жоғары деңгейі, табыстың төмендігі, еңбек ресурстарының тапшылығы және инфрақұрылымдық оқшаулану арқылы көрініс табады. Осыған байланысты өңірлік азық-түлік саясаты өндірісті ұлғайтумен шектелмей, аумақтық қолжетімділікті арттыру, көлік және әлеуметтік инфрақұрылымды дамыту, еңбекке ынталандыру тетіктерін жетілдіру және шекаралық тәуекелдерді басқару бағытында қайта қарастырылуы тиіс.

Осылайша, зерттеу нәтижелері Солтүстік Қазақстан облысында азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесінің экономикалық өсім көрсеткіштерімен ғана емес, өңірдің әлеуметтік шынайылығымен, демографиялық тұрақтылығымен және аумақтық тұтастығымен тікелей байланысты екенін көрсетті. Бұл қорытындылар өңірлік азық-түлік қауіпсіздігін ұлттық қауіпсіздік контекстінде қарастырудың және шекаралық өңірлерге арналған сараланған саясат қалыптастырудың ғылыми негізін құрайды.

Зерттеуді қаржыландыру көзі. Бұл зерттеу 2025–2027 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобаларды гранттық қаржыландыру шеңберінде жүзеге асырылып жатқан ИРН AP26104945 жобасы аясында орындалды. Жобаны Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі қаржыландырады.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. Барретт, К.Б. Измерение продовольственной безопасности // *Science*. – 2010. – Т. 327, № 5967. – С. 825–828.
2. Макмахон, А. Понимание продовольственной безопасности: теории, концепции и методы. – Лондон: Routledge, 2014. – 256 с.
3. Тиммер, К.П. Продовольственная безопасность и дефицит: почему так трудно покончить с голодом // *Foreign Policy*. – 2004. – № 144. – С. 58–66.
4. Ванг, Д., Ли, Р., Гао, Г., Джакула, Н., Токтарбек, С., Ли, С., Ма, П., Фэн, Ю. Влияние изменения климата на продовольственную безопасность в Казахстане // *Agriculture*. – 2022. – Т. 12, № 8. – Ст. 1087. – DOI: 10.3390/agriculture12081087.
5. Калиева, А., Абильда, С. Продовольственная безопасность Казахстана в условиях зеленой экономики и возобновляемой энергетики: оценки ARDL и NARDL // *International Journal of Energy Economics and Policy*. – 2025. – Т. 16, № 1. – С. 181–189. – DOI: 10.32479/ijeep.21708.
6. Дуламбаева, Р., Жунусова, А. Оценка компонентов доступности продовольственной безопасности в Казахстане // *Public Administration and Civil Service Journal*. – 2024. – DOI: 10.52123/1994-2370-2024-1176.

7. **Алибаев, Е., Онучко, М.Ю.** Обеспечение продовольственной безопасности Казахстана в условиях ЕАЭС // *Қоғам және дәуір.* – 2023. – № 1(77). – DOI: 10.52536/2788-5860.2023-1.08.
8. **Оскар, М.** Обзор основных направлений развития продовольственной политики Республики Казахстан // *Қоғам және дәуір.* – 2021. – № 4(72). – С. 98–118. – DOI: 10.52536/2788-5860.2021-4.08.
9. **Гриднева, Е.Е., Қалиақпарова, Г.Ш., Жанғырова, Р.Н., Парманова, Р.С., Кошербаева, А.Б.** Перспективы повышения продовольственной безопасности Казахстана // *Вестник Карагандинского университета.* – 2023. – URL: <https://rep.ksu.kz/handle/data/17186> (қолжетімділік: 08. 12. 2025).
10. **Смагулов, А.** Управление продовольственной безопасностью в условиях инновационной экономики // *Вестник НИРК.* – 2021. – DOI: 10.47533/2020.1606-146X.70.
11. **Шолпанбаева, К., Апышева, А., Байгужинова, А.** Развитие сельского хозяйства как фактор обеспечения продовольственной безопасности Казахстана // *ScienceRise.* – 2024. – DOI: 10.21303/2313-8416.2024.003688.
12. **Қазақстан Республикасының Ұлттық статистика бюросы.** Тұрақты даму мақсаттары: 2-мақсат – Аштықты жою. URL: <https://stat.gov.kz/sustainable-development-goals/goal/2/> (қаралған күні: 05. 01. 2026).
13. **Накиспекова А.** Kazakhstan to boost food security by 2035, say experts // *The Astana Times.* – 2024. – August 16. – URL: <https://astanatimes.com/2024/08/kazakhstan-to-boost-food-security-by-2035-say-experts/> (қаралған күні: 29.12.2025).
14. **Солтүстік Қазақстан облысының әкімдігі.** Ресми веб-сайт. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/sko?lang=kk> (қаралған күні: 12.01.2026).
15. **Сен А.** Ingredients of famine analysis: Availability and entitlements // *The Quarterly Journal of Economics.* – 1981. – Vol. 96, № 3. – Б. 433–464. – DOI: 10.2307/1882681.

REFERENCES:

1. **Barrett, C. B. (2010).** Measuring food security. *Science*, 327(5967), 825–828.
2. **McMahon, A. (2014).** *Understanding food security: Theories, concepts, and methods.* London: Routledge.
3. **Timmer, C. P. (2004).** Food security and scarcity: Why is it so hard to end hunger? *Foreign Policy*, 144, 58–66.
4. **Wang, D., Li, R., Gao, G., Jiakula, N., Toktarbek, S., Li, S., Ma, P., & Feng, Y. (2022).** Impact of climate change on food security in Kazakhstan. *Agriculture*, 12(8), 1087. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081087>.
5. **Kaliev, A., & Abilda, S. (2025).** Food security of Kazakhstan under the green economy and renewable energy: ARDL and NARDL estimates. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 16(1), 181–189. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.21708>.
6. **Dulambaeva, R., & Zhunusova, A. (2024).** Assessment of food security availability components in Kazakhstan. *Public Administration and Civil Service Journal*. <https://doi.org/10.52123/1994-2370-2024-1176>.
7. **Alibaev, E., & Onuchko, M. Y. (2023).** Ensuring food security of Kazakhstan in the EAEU context. *Qoғam және дәуір*, 1(77). <https://doi.org/10.52536/2788-5860.2023-1.08>.
8. **Oskar, M. (2021).** Overview of main directions in the development of Kazakhstan's food policy. *Qoғam және дәуір*, 4(72), 98–118. <https://doi.org/10.52536/2788-5860.2021-4.08>.
9. **Gridneva, E. E., Qaliaqparova, G. Sh., Zhangyirova, R. N., Parmanova, R. S., & Kosherbaeva, A. B. (2023).** Prospects for improving food security in Kazakhstan. *Vestnik Karagandinskogo universiteta*. <https://rep.ksu.kz/handle/data/17186>.
10. **Smagulov, A. (2021).** Managing food security in an innovative economy. *Vestnik NIRK*. <https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.70>.
11. **Sholpanbayeva, K., Apysheva, A., & Baiguzhinova, A. (2024).** Agricultural development as a factor in ensuring food security in Kazakhstan. *ScienceRise*. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2024.003688>.
12. **Kazakhstan Republic National Bureau of Statistics. (n.d.).** Sustainable development goals: Goal 2 – Zero hunger. Retrieved January 5, 2026, from <https://stat.gov.kz/en/sustainable-development-goals/goal/2/>.
13. **Nakispekova, A. (2024, August 16).** Kazakhstan to boost food security by 2035, say experts. *The Astana Times*. Retrieved December 29, 2025, from <https://astanatimes.com/2024/08/kazakhstan-to-boost-food-security-by-2035-say-experts/>.
14. **North Kazakhstan Region Akimat. (n.d.).** Official website. Retrieved January 12, 2026, from <https://www.gov.kz/memleket/entities/sko?lang=kk>.
15. **Sen, A. (1981).** Ingredients of famine analysis: Availability and entitlements. *The Quarterly Journal of Economics*, 96(3), 433–464. <https://doi.org/10.2307/1882681>.

Авторлар туралы мәліметтер:

Әлібай Ерлан Ақылжанұлы* – PhD, қауымдастырылған профессор, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан. Орман көшесі, 43, 150000. e-mail: alibai_88@mail.ru.

Әлібай Ләзиза Мырзантайқызы – аға ғылыми қызметкер, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл, Қазақстан. Жамбыл көшесі, 80, 203. 150000 e-mail: lyaziza149@gmail.com.

Әлібай Ерлан Ақылжанұлы* – PhD, ассоциированный профессор, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан, e-mail: alibai_88@mail.ru.

Әлібай Ләзиза Мырзантайқызы – старший научный сотрудник, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан, e-mail: lyaziza149@gmail.com.

Yerlan Alibay* – PhD, Associate Professor, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavl, Kazakhstan, e-mail: alibai_88@mail.ru.

Laziza Alibay – Senior Researcher, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavl, Kazakhstan, e-mail: lyaziza149@gmail.com.

МРНТИ 06.71.07; 68.75.31

УДК 338.43:551.583:338.439(575.3)

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621290>

**СТАТИСТИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Асоев Б.Х. – кандидат экономических наук, доцент, декан факультета цифровой экономики и финансов, Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана, г. Куляб, Республика Таджикистан.

Наурзбаева К.Б.* – руководитель группы запуска новых проектов, завод «Аллыр», ТОО «СарыаркаАвтоПром», г. Костанай, Республика Казахстан.

Абдуллозода Х.А. – старший преподаватель кафедры «Государственного языка и современных иностранных языков» Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана, г. Куляб, Республика Таджикистан.

Ахмедзода З.П. – кандидат педагогических наук, Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана, г. Куляб, Республика Таджикистан.

В современных условиях изменение климата относится к числу ключевых факторов, определяющих устойчивость функционирования национальных агропродовольственных систем и перспективы обеспечения продовольственной безопасности. Наиболее высокая уязвимость характерна для стран, сельское хозяйство которых развивается в условиях ограниченности земельных и водных ресурсов, высокой зависимости производства от природно-климатических условий и сохраняющегося демографического роста. Республика Таджикистан относится к числу таких государств. Более 90 % территории страны занимают горные районы, площадь сельскохозяйственных угодий ограничена природными условиями, а эффективность растениеводства во многом определяется устойчивостью водообеспечения, формируемого за счет ледниковых и речных ресурсов. Одновременно повышение температуры воздуха, изменение режима атмосферных осадков, сокращение площади ледников, рост повторяемости засух и усиление климатической изменчивости создают дополнительные риски для устойчивого развития аграрного сектора и обеспечения населения продовольствием. Целью исследования является проведение комплексной статистико-экономической оценки влияния климатических изменений на продовольственную безопасность Республики Таджикистан посредством анализа долгосрочных тенденций изменения климатических, производственных и социально-экономических показателей, а также количественной оценки взаимосвязей между ними. Научная новизна исследования заключается в комплексной статистико-экономической оценке взаимосвязей между климатическими изменениями, развитием сельского хозяйства и отдельными индикаторами продовольственной безопасности Республики Таджикистан на основе длительных сопоставимых рядов официальной статистики. В отличие от большинства ранее опубликованных исследований, анализ выполнен в единой системе климатических, производственных и социально-экономических показателей, что позволяет выявить количественные закономерности формирования продовольственной безопасности в условиях изменения климата. Практическая значимость исследования определяется возможностью использования полученных результатов при совершенствовании государственной аграрной политики, разработке национальных программ адаптации сельского хозяйства к климатическим изменениям, оценке рисков продовольственной безопасности, повышении эффективности использования земельных и водных ресурсов,

а также формировании долгосрочных стратегий устойчивого развития агропродовольственного комплекса Республики Таджикистан.

Ключевые слова: продовольственная безопасность; изменение климата; сельское хозяйство; зерновое производство; урожайность; статистико-экономический анализ; корреляционно-регрессионный анализ; климатические риски; Республика Таджикистан; FAOSTAT.

ТӘЖІКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ АЗЫҚ-ТҮЛІК ҚАУІПСІЗДІГІНЕ КЛИМАТТЫҢ ӨЗГЕРУІНІҢ ӨСЕРІН СТАТИСТИКАЛЫҚ-ЭКОНОМИКАЛЫҚ БАҒАЛАУ

Асоев Б.Х. – экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), цифрлық экономика және қаржы факультетінің деканы, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті, Куляб қ., Тәжікстан Республикасы.

Наурзбаева К.Б.* – «СарыаркаАвтоПром» ЖШС «Аллюр» зауытының жаңа жобаларды іске қосу тобының жетекшісі, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Абдуллозода Х.А. – «Мемлекеттік тіл және қазіргі заманғы шетел тілдері» кафедрасының аға оқытушысы, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті, Куляб қ., Тәжікстан Республикасы.

Ахмедзода З.П. – педагогика ғылымдарының кандидаты, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті, Куляб қ., Тәжікстан Республикасы.

Қазіргі жағдайда климаттың өзгеруі ұлттық аграрлық азық-түлік жүйелерінің тұрақты жұмыс істеуін және азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету перспективаларын айқындайтын негізгі факторлардың біріне айналды. Ең жоғары осалдық жер және су ресурстары шектеулі, ауыл шаруашылығы табиғи-климаттық жағдайларға қатты тәуелді және халық санының өсуі әлі де жалғасып жатқан елдерге тән. Тәжікстан Республикасы осындай мемлекеттердің қатарына жатады. Ел аумағының 90 %-дан астамын таулы өңірлер алып жатыр, ауыл шаруашылығына жарамды жерлердің көлемі табиғи жағдайлармен шектелген, ал өсімдік шаруашылығының тиімділігі негізінен мұздықтар мен өзендердің су ресурстары есебінен қалыптасатын су қамтамасыз ету жүйесінің тұрақтылығына тәуелді. Сонымен қатар ауа температурасының жоғарылауы, атмосфералық жауын-шашын режимінің өзгеруі, мұздықтар аумағының қысқаруы, құрғақшылықтың қайталану жиілігінің артуы және климаттық құбылмалылықтың күшеюі аграрлық сектордың тұрақты дамуы мен халықты азық-түлікпен қамтамасыз ету үшін қосымша тәуекелдер туғызады. Зерттеудің мақсаты – климаттық, өндірістік және әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштердің ұзақ мерзімді өзгеру үрдістерін талдау, сондай-ақ олардың арасындағы өзара байланыстарды сандық тұрғыдан бағалау негізінде климаттың өзгеруінің Тәжікстан Республикасының азық-түлік қауіпсіздігіне әсеріне кешенді статистикалық-экономикалық бағалау жүргізу. Зерттеудің ғылыми жаңалығы ұзақ мерзімді салыстырмалы ресми статистикалық деректер негізінде климаттың өзгеруі, ауыл шаруашылығының дамуы және Тәжікстан Республикасының азық-түлік қауіпсіздігінің жекелеген индикаторлары арасындағы өзара байланыстарға кешенді статистикалық-экономикалық бағалау жүргізуінде көрініс табады. Бұрын жарияланған зерттеулердің басым бөлігінен айырмашылығы, бұл жұмыста талдау климаттық, өндірістік және әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштердің бірыңғай жүйесі шеңберінде жүзеге асырылды, бұл климаттың өзгеруі жағдайында азық-түлік қауіпсіздігінің қалыптасуындағы сандық заңдылықтарды анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеудің практикалық маңыздылығы алынған нәтижелерді мемлекеттік аграрлық саясатты жетілдіруде, ауыл шаруашылығын климаттың өзгеруіне бейімдеудің ұлттық бағдарламаларын әзірлеуде, азық-түлік қауіпсіздігі тәуекелдерін бағалауда, жер және су ресурстарын пайдалану тиімділігін арттыруда, сондай-ақ Тәжікстан Республикасының аграрлық азық-түлік кешенінің тұрақты дамуының ұзақ мерзімді стратегияларын қалыптастыруда пайдалану мүмкіндігімен айқындалады.

Түйінді сөздер: азық-түлік қауіпсіздігі; климаттың өзгеруі; ауыл шаруашылығы; астық өндірісі; өнімділік; статистикалық-экономикалық талдау; корреляциялық-регрессиялық талдау; климаттық тәуекелдер; Тәжікстан Республикасы; FAOSTAT.

STATISTICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON FOOD SECURITY IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Assoyev B.Kh. – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of digital economy and finance, Tajikistan University of Innovation and Digital Technologies, Kulob city, Republic of Tajikistan.

Naurzbayeva K.B. – Head of the New projects launch team, Allur plant, SaryarkaAvtoProm LLP Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Abdullozoda Kh.A. – Senior Lecturer, Department of the state language and modern foreign languages, Tajikistan University of Innovation and Digital Technologies, Kulob city, Republic of Tajikistan.

Akhmedzoda Z.P. – Candidate of Pedagogical Sciences, Tajikistan University of Innovations and Digital Technologies, Kulob city, Republic of Tajikistan.

In the current context, climate change is one of the key factors determining the sustainability of national agri-food systems and the prospects for ensuring food security. The highest level of vulnerability is typical of countries where agriculture develops under conditions of limited land and water resources, high dependence of production on natural and climatic conditions, and continuing demographic growth. The Republic of Tajikistan belongs to this group of countries. More than 90% of its territory is occupied by mountainous areas, agricultural land is constrained by natural conditions, and the efficiency of crop production is largely determined by the stability of water supply formed by glacial and river resources. At the same time, rising air temperatures, changes in precipitation patterns, glacier retreat, the increasing frequency of droughts, and intensifying climate variability create additional risks for the sustainable development of the agricultural sector and the provision of food to the population. The purpose of this study is to conduct a comprehensive statistical and economic assessment of the impact of climate change on food security in the Republic of Tajikistan by analyzing long-term trends in climatic, production, and socio-economic indicators, as well as by quantitatively assessing the relationships among them. The scientific novelty of the study lies in the comprehensive statistical and economic assessment of the relationships between climate change, agricultural development, and selected food security indicators in the Republic of Tajikistan based on long-term comparable series of official statistics. Unlike most previously published studies, the analysis is carried out within a unified system of climatic, production, and socio-economic indicators, which makes it possible to identify quantitative patterns in the formation of food security under climate change. The practical significance of the study is determined by the potential use of its results in improving state agrarian policy, developing national programs for adapting agriculture to climate change, assessing food security risks, increasing the efficiency of land and water resource use, and formulating long-term strategies for the sustainable development of the agri-food complex of the Republic of Tajikistan.

Keywords: food security, climate change, agriculture, grain production, crop yield, statistical and economic analysis, correlation and regression analysis, climate risks, Republic of Tajikistan, FAOSTAT.

Введение. Обеспечение продовольственной безопасности является одной из центральных задач устойчивого социально-экономического развития современного государства и рассматривается как неотъемлемый элемент национальной безопасности, экономической стабильности и качества жизни населения. В условиях глобальных климатических изменений, ускоренного роста численности населения, деградации природных ресурсов и возрастающей нестабильности мировых продовольственных рынков способность национальных агропродовольственных систем обеспечивать население достаточным количеством безопасных и экономически доступных продуктов питания становится одним из определяющих факторов долгосрочного развития. В этой связи вопросы повышения устойчивости сельского хозяйства приобретают особую актуальность для государств, экономика которых характеризуется высокой зависимостью аграрного производства от природно-климатических условий.

Республика Таджикистан относится к числу наиболее уязвимых стран Центральной Азии с позиции воздействия климатических изменений на сельское хозяйство. Природно-географические особенности страны предопределяют высокую концентрацию сельскохозяйственного производства на ограниченных площадях орошаемых земель, расположенных преимущественно в речных долинах и межгорных котловинах. Более 90 % территории занимают горные массивы, что существенно ограничивает возможности расширения пахотных земель и усиливает зависимость аграрного производства от рационального использования земельных и водных ресурсов. Одновременно продолжающийся рост численности населения формирует устойчивую тенденцию увеличения внутреннего спроса на продовольствие, повышая требования к эффективности функционирования агропродовольственного комплекса. Дополнительное давление на сельское хозяйство оказывает изменение климата. За последние десятилетия в регионе наблюдаются устойчивое повышение температуры воздуха, сокращение площади ледников, изменение гидрологического режима рек, увеличение повторяемости экстремальных погодных явлений и усиление сезонной неравномерности атмосферных осадков. Для Таджикистана данные процессы имеют особое значение, поскольку именно ледниковые системы Памира формируют значительную часть водных ресурсов, обеспечивающих функционирование орошаемого земледелия. В этих условиях изменяются агроклиматические условия выращивания сельскохозяйственных культур, возрастают риски дефицита оросительной воды, увеличиваются производственные издержки, а устойчивость сельскохозяйственного производства становится все более чувствительной к климатической изменчивости. Несмотря на значительное внимание, уделяемое проблемам изменения климата и продовольственной безопасности, современная научная литература преимущественно рассматривает отдельные компоненты данной проблемы. Значительная часть исследований посвящена анализу климатических тенденций, оценке состояния водных ресурсов, динамике урожайности отдельных сельскохозяйственных культур, развитию ирригационной инфраструктуры или макроэкономическим аспектам обеспечения населения продовольствием. Вместе с тем значительно меньшее внимание уделяется комплексному статистико-экономическому анализу взаимосвязей между климатическими факторами, динамикой сельскохозяйственного производства и социально-экономическими индикаторами продовольственной безопасности, основанному на длительных сопоставимых рядах официальной статистики.

Целью исследования является проведение комплексной статистико-экономической оценки влияния климатических изменений на продовольственную безопасность Республики Таджикистан посредством анализа долгосрочных тенденций изменения климатических, производственных и социально-экономических показателей, а также количественной оценки взаимосвязей между ними.

Методологическую основу исследования составляют методы сравнительного экономико-статистического анализа, анализа динамических рядов, индексного анализа, анализа вариации статистических показателей, корреляционного и регрессионного анализа. Информационной базой исследования являются официальные статистические материалы Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан, международные базы данных FAOSTAT, Всемирного банка, климатическая база NASA POWER, а также материалы Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (FAO). Анализ охватывает период независимого развития Республики Таджикистан и проводится исключительно по показателям, для которых обеспечивается статистическая сопоставимость временных рядов.

Настоящее исследование направлено на комплексную статистико-экономическую оценку влияния климатических изменений на продовольственную безопасность Республики Таджикистан посредством последовательного анализа динамики климатических параметров, показателей сельскохозяйственного и зернового производства, макроэкономических характеристик развития аграрного сектора и отдельных индикаторов продовольственной безопасности. Такой подход позволяет выявить количественные закономерности формирования устойчивости агропродовольственной системы страны, определить ключевые факторы ее развития и сформировать научную основу для последующих исследований, посвященных построению эконометрических моделей прогнозирования продовольственной безопасности в условиях дальнейших климатических изменений.

Материалы и методы исследования. Анализ современной научной литературы, посвященной вопросам продовольственной безопасности, климатических изменений и развития аграрного сектора Республики Таджикистан, свидетельствует о существенном прогрессе в исследовании отдельных аспектов данной проблемы [1]. В частности, опубликованы работы, посвященные оценке влияния климатических изменений на урожайность сельскохозяйственных культур, управлению водными ресурсами, продовольственной обеспеченности населения [2], а также сценарному прогнозированию развития сельского хозяйства с использованием международных моделей, включая модель IFPRI IMPACT [3]. Вместе с тем проведенный анализ показывает, что существующие исследования преимущественно рассматривают отдельные компоненты агропродовольственной системы и не формируют единой интегрированной статистико-экономической основы для оценки продовольственной безопасности.

Исследовательский пробел заключается в том, что в настоящее время отсутствуют комплексные исследования, которые одновременно: (1) используют длительные статистические ряды, охватывающие период независимого развития Республики Таджикистан; (2) интегрируют климатические, производственные и экономические показатели в единую экономико-математическую зависимость; (3) количественно оценивают влияние экономической эффективности сельскохозяйственного производства на уровень продовольственной безопасности; (4) предлагают прикладной инструментарий прогнозирования, ориентированный на поддержку принятия управленческих решений в условиях климатических изменений. Именно восполнение данного научного пробела определяет актуальность настоящего исследования и его научную новизну.

Следует отметить, что вопросы обеспечения продовольственной безопасности и повышения устойчивости сельского хозяйства занимают центральное место в системе стратегического планирования Республики Таджикистан. Базовым документом является Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года [4], определяющая обеспечение продовольственной безопасности, повышение эффективности сельского хозяйства, рациональное использование земельных и водных ресурсов, а также адаптацию экономики к изменению климата в числе ключевых национальных приоритетов.

Реализация указанных приоритетов обеспечивается рядом отраслевых государственных программ и стратегий, включая Национальную стратегию адаптации к изменению климата до 2030 года, Программу реформирования водного сектора на 2016–2025 годы, Государственную программу развития новых орошаемых земель и восстановления земель сельскохозяйственного назначения на 2022–2027 годы, Концепцию создания и развития агропромышленных кластеров до 2040 года, Стратегию развития «зеленой» экономики на 2023–2037 годы, а также Программу цифровизации сельского хозяйства на 2025–2030 годы, ориентированную на внедрение цифровых технологий, систем мониторинга и климатически устойчивых методов ведения сельского хозяйства. Эти документы формируют институциональную основу перехода к более устойчивой и конкурентоспособной агропродовольственной системе страны [5–10].

Несмотря на сформированную нормативно-правовую базу, большинство государственных программ ориентировано преимущественно на развитие отдельных отраслей сельского хозяйства, совершенствование инфраструктуры, ирригации и адаптацию к климатическим изменениям. При этом в действующих программных документах отсутствует интегрированный статистико-экономический

инструмент, позволяющий количественно оценивать взаимосвязь климатических факторов, экономической эффективности сельскохозяйственного производства и уровня продовольственной безопасности. Разработка данного подхода представляется важным направлением совершенствования научного обеспечения государственной аграрной политики Республики Таджикистан.

Объектом исследования является аграрный сектор Республики Таджикистан как основа национальной системы продовольственной безопасности в условиях изменения климата. Выбор объекта обусловлен высокой зависимостью сельскохозяйственного производства от природно-климатических условий, ограниченностью земельных и водных ресурсов, а также значительной ролью сельского хозяйства в обеспечении занятости населения, формировании доходов сельских домохозяйств и производстве основных видов продовольствия. После обретения независимости аграрная политика страны была ориентирована на земельную реформу, повышение производительности сельского хозяйства и укрепление продовольственной безопасности, которые остаются приоритетами государственной политики и в настоящее время.

Настоящее исследование охватывает период независимого развития Республики Таджикистан (начиная с 1991 года). Однако анализ проводится только по тем показателям, для которых обеспечивается сопоставимость статистических данных на протяжении исследуемого периода. При отсутствии непрерывных временных рядов используются максимально продолжительные интервалы официальных наблюдений, что позволяет сохранить статистическую корректность результатов.

Информационную основу исследования составляют исключительно открытые официальные источники данных:

- статистические сборники Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан (TAJSTAT) [11];
- база данных FAOSTAT [12,13] по производству сельскохозяйственной продукции, урожайности, посевным площадям, продовольственным балансам и структуре аграрного производства;
- база данных Всемирного банка (World Development Indicators);
- климатическая база NASA POWER [14];
- материалы Министерства сельского хозяйства Республики Таджикистан;
- результаты исследований ученых Республики Таджикистан и международных организаций (IFPRI, FAO, CGIAR, Азиатский банк развития).

В методологическом аспекте исследования, использование нескольких независимых источников позволяет сопоставить национальные статистические данные с международными базами и повысить надежность полученных результатов и сформулированной статистико-экономической оценки продовольственной безопасности Таджикистана в условиях климатических изменений. При построении алгоритма проведения анализа учитываются результаты многолетних исследований таджикских и зарубежных ученых, посвященных развитию аграрного сектора, продовольственной безопасности, экономике сельского хозяйства, управлению водными ресурсами и адаптации к изменению климата [15].

Особое значение имеют исследования П. Хакимова (Parviz Khakimov), К. Акрамова (Kamiljon Akramov), Дж. Алиева (Jovidon Aliev), Т. Томаса (Timothy S. Thomas), Дж. Ильясова (Jarilkasin Ilyasov), а также работы IFPRI [1,2,3], посвященные анализу аграрного развития и продовольственной безопасности Республики Таджикистан. Эти исследования позволили установить влияние климатических изменений на урожайность, использование водных ресурсов, структуру сельскохозяйственного производства и долгосрочную устойчивость продовольственной системы страны. Вместе с тем существующие публикации преимущественно используют методы оценки частичного или общего равновесия либо сценарные прогнозы, не интегрируя экономические показатели эффективности сельского хозяйства в единую систему оценки продовольственной безопасности.

Результаты и обсуждение. Для формирования статистико-экономической оценки продовольственной безопасности Таджикистана в условиях климатических изменений – показатели объединяются в четыре аналитических блока.

Климатический блок: среднегодовая температура воздуха; температура вегетационного периода; сумма атмосферных осадков; показатели водообеспеченности; климатические индексы засушливости (при наличии сопоставимых данных).

Производственный блок: посевные площади; урожайность основных сельскохозяйственных культур; валовой сбор продукции; продукция животноводства; площадь орошаемых земель.

Экономический блок: валовая добавленная стоимость сельского хозяйства; доля сельского хозяйства в ВВП; производство продукции сельского хозяйства в стоимостном выражении; экспорт и импорт продовольствия; показатели продовольственного самообеспечения.

Блок продовольственной безопасности: обеспеченность населения продовольствием; уровень продовольственной зависимости; показатели продовольственных балансов; отдельные индикаторы FAO и Всемирного банка при наличии непрерывных временных рядов.

Следует отметить, что такие показатели, как рентабельность сельскохозяйственного производства, прибыльность отдельных видов продукции и доходность сельскохозяйственных предприятий, не представлены в открытых официальных источниках Республики Таджикистан непрерывными рядами

за весь период независимости. Поэтому их непосредственное включение в долгосрочное эконометрическое исследование невозможно без привлечения ведомственной статистики или микроданных предприятий. В настоящем исследовании этот факт рассматривается как объективное ограничение информационной базы, а не восполняется экспертными оценками или расчетными величинами.

Анализ многолетней динамики атмосферных осадков за 1990–2024 гг. показывает, что сельскохозяйственный регион Таджикистана (Координаты Bokhtar (Хатлон) 37.84°N, 68.78°E) характеризуется высокой межгодовой изменчивостью влагообеспеченности. По данным NASA POWER, среднегодовая сумма осадков за исследуемый период составила 272,3 мм, при этом минимальное значение было зафиксировано в 2000 г. – 111,7 мм, а максимальное – в 2024 г. – 582,0 мм. Размах колебаний составил 470,4 мм, что свидетельствует о значительной нестабильности режима увлажнения (рисунок 1).

Коэффициент вариации годовой суммы осадков составил 39,5 %, что указывает на высокий уровень климатической изменчивости. За 35-летний период в 10 годах количество осадков было ниже 200 мм, что можно рассматривать как годы выраженного дефицита влаги. К таким годам относятся 1995, 1996, 1999, 2000, 2001, 2007, 2008, 2010, 2011 и 2013 гг. Наиболее засушливыми были 2000 г. – 111,7 мм, 2008 г. – 123,3 мм, 1995 г. – 150,5 мм, 2013 г. – 151,1 мм и 2007 г. – 164,3 мм.

В то же время годы с повышенным количеством осадков наблюдались значительно реже. Более 400 мм осадков было зафиксировано только в 1991, 1993, 2022 и 2024 гг. Особенно выделяется 2024 г., когда годовая сумма осадков достигла 582,0 мм, что более чем в два раза превышает среднее многолетнее значение. Это свидетельствует не столько о стабильном повышении увлажненности, сколько об усилении амплитуды межгодовых климатических колебаний.

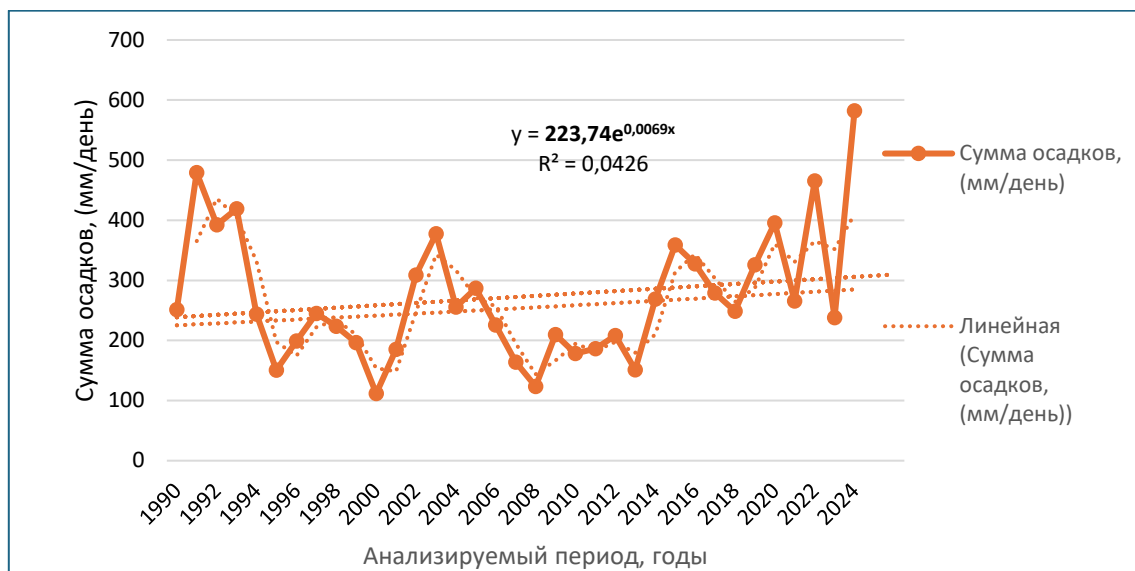


Рисунок 1 – Анализ динамики атмосферных осадков в сельскохозяйственном регионе Таджикистана

Сезонная структура осадков имеет выраженную неравномерность. Наибольшая часть влаги приходится на весенний период. Средняя сумма осадков за март–май составила 122,3 мм, или около 44,9 % годового объема. Зимний период обеспечивает около 37,2 % годовых осадков. Напротив, летний период характеризуется крайне низкой влагообеспеченностью: средняя сумма осадков за июнь–август составила всего 8,2 мм, или около 3,0 % годового объема. Это особенно важно для сельского хозяйства, поскольку именно летние месяцы совпадают с периодами интенсивного роста и формирования урожая многих культур.

Осадки в вегетационный период апрель–сентябрь составили в среднем 77,7 мм, при коэффициенте вариации 59,0 %. Это означает, что влагообеспеченность в период активной вегетации крайне нестабильна и может существенно различаться по годам. Минимальное значение осадков в апреле–сентябре было зафиксировано в 2000 г. – 6,8 мм, максимальное – в 1991 г. – 169,1 мм. Следовательно, риск засухи в период вегетации является одним из ключевых климатических ограничений сельскохозяйственного производства.

Линейный тренд годовой суммы осадков за 1990–2024 гг. имеет положительное направление и составляет около +19,7 мм за десятилетие, однако статистически он не является значимым ($p = 0,280$; $R^2 = 0,035$). Это означает, что на основании имеющегося ряда нельзя научно обоснованно утверждать о стабильном росте годового количества осадков. Более корректный вывод состоит в том, что режим осадков характеризуется высокой изменчивостью и чередованием засушливых и влажных лет.

Иная картина наблюдается по осенним осадкам. Для периода сентябрь–ноябрь выявлен положительный и статистически значимый тренд – около +18,0 мм за десятилетие ($p = 0,002$; $R^2 = 0,251$).

Это может указывать на перераспределение части осадков в сторону осеннего периода. С агроэкономической точки зрения такая тенденция имеет неоднозначное значение: осенние осадки могут улучшать влагонакопление в почве перед следующим сельскохозяйственным сезоном, однако они не всегда компенсируют дефицит влаги в летние месяцы, когда формируется урожай.

Таким образом, анализ осадков показывает, что основной климатический риск для аграрного сектора исследуемого региона связан не с абсолютным снижением годовой суммы осадков, а с их высокой межгодовой и сезонной неравномерностью. Для сельскохозяйственного производства критическое значение имеет не столько общий годовой объем влаги, сколько ее распределение по сезонам и особенно обеспеченность осадками в вегетационный период. Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейшего корреляционно-регрессионного анализа взаимосвязи между осадками, урожайностью основных сельскохозяйственных культур и экономическими результатами аграрного производства.

Анализ данных NASA POWER за 1990–2024 гг. по координатам 37.84°N, 68.78°E показывает, что температурный режим исследуемого сельскохозяйственного региона характеризуется выраженной тенденцией к потеплению. Среднегодовая температура поверхности земли за рассматриваемый период составила 16,98 °C. Минимальное значение было зафиксировано в 1992 г. – 15,27 °C, максимальное – в 2006 г. – 18,04 °C. Амплитуда межгодовых колебаний составила 2,77 °C, что свидетельствует о заметной изменчивости термических условий (рисунок 2).

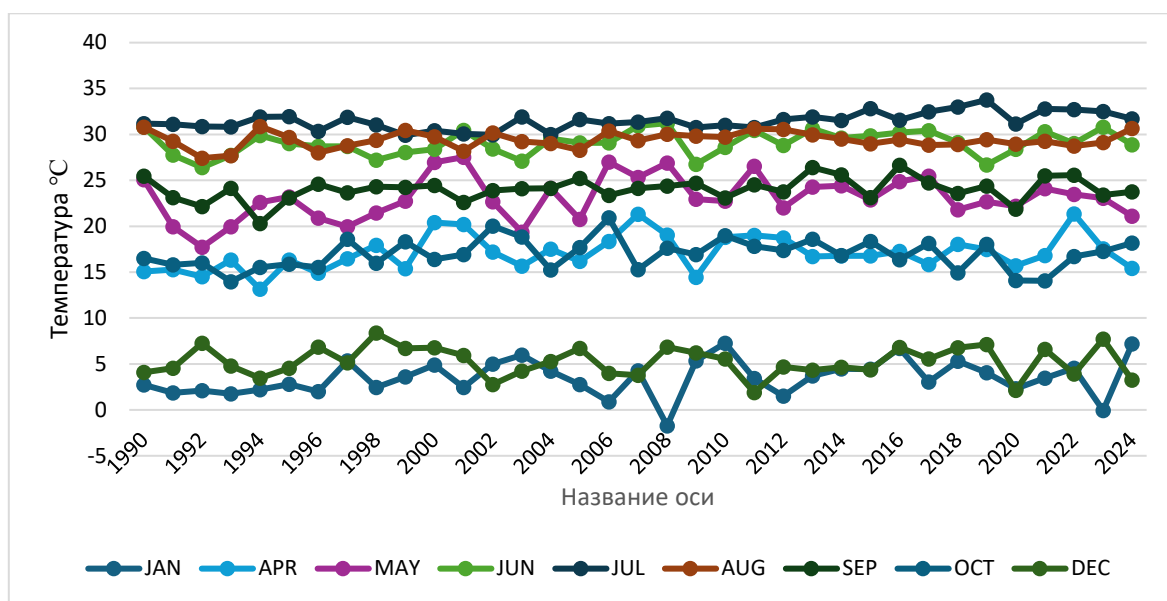


Рисунок 2 – Анализ динамики температурного режима исследуемого сельскохозяйственного региона

Линейный тренд среднегодовой температуры имеет положительное и статистически значимое направление. За 1990–2024 гг. температура повышалась в среднем на 0,31 °C за десятилетие при уровне значимости $p = 0,009$ и коэффициенте детерминации $R^2 = 0,188$. Это означает, что около 18,8 % межгодовой вариации среднегодовой температуры объясняется временным трендом, а остальная часть связана с естественной климатической изменчивостью и сезонными колебаниями.

По десятилетиям наблюдается повышение средней температуры по сравнению с 1990-ми годами. В 1990–1999 гг. среднее значение составило 16,31 °C, в 2000–2009 гг. – 17,36 °C, в 2010–2019 гг. – 17,25 °C, а в 2020–2024 гг. – 17,01 °C. Следовательно, наиболее резкий сдвиг температурного режима произошел после 2000 г., когда средние значения стали устойчиво выше уровня 1990-х годов.

Наиболее теплыми годами за весь период наблюдений были 2006 г. – 18,04 °C, 2016 г. – 17,90 °C, 2007 г. – 17,87 °C, 2013 г. – 17,83 °C и 2010 г. – 17,75 °C. Наиболее прохладными были 1992 г. – 15,27 °C, 1993 г. – 15,54 °C, 1991 г. – 15,68 °C, 2020 г. – 15,74 °C и 1996 г. – 15,76 °C.

Сезонный анализ показывает, что потепление проявляется неравномерно. Наиболее выраженное повышение температуры наблюдается весной и летом. Средняя весенняя температура за март–май составила 16,99 °C, при этом тренд равен +0,67 °C за десятилетие и является статистически значимым ($p = 0,024$; $R^2 = 0,146$). Летняя температура за июнь–август в среднем составила 31,17 °C, а тренд равен +0,31 °C за десятилетие при высокой статистической значимости ($p = 0,007$; $R^2 = 0,199$).

Особое значение для сельского хозяйства имеет температура вегетационного периода апрель–сентябрь. Ее среднее значение составило 26,37 °C, а тренд – +0,38 °C за десятилетие ($p = 0,015$; $R^2 = 0,166$). Это указывает на устойчивое повышение тепловой нагрузки в период активного роста и формирования урожая сельскохозяйственных культур.

По отдельным месяцам наиболее статистически выраженное потепление выявлено в марте и июле. В марте температура увеличивалась в среднем на 1,04 °C за десятилетие ($p = 0,005$; $R^2 = 0,218$), а в июле – на 0,46 °C за десятилетие ($p = 0,001$; $R^2 = 0,280$). Следовательно, потепление наиболее заметно в начале весеннего периода и в середине лета. Это имеет важное агроэкономическое значение, поскольку мартовское потепление может изменять сроки начала вегетации, а июльское повышение температуры усиливает риск теплового стресса, роста испаряемости и дефицита влаги.

Зимний и осенний периоды не демонстрируют статистически значимого температурного тренда. Для зимы тренд составил +0,21 °C за десятилетие, однако он не является статистически значимым ($p = 0,254$). Для осени тренд практически отсутствует – +0,07 °C за десятилетие ($p = 0,684$). Это позволяет сделать вывод, что общий рост среднегодовой температуры в исследуемом регионе формируется преимущественно за счет весенне-летнего потепления.

С агроэкономической точки зрения выявленная тенденция имеет двойственный характер. С одной стороны, весеннее потепление может способствовать более раннему началу сельскохозяйственных работ и удлинению потенциального периода вегетации. С другой стороны, повышение температуры в летний и вегетационный периоды усиливает нагрузку на водные ресурсы, повышает испаряемость, увеличивает потребность в орошении и может снижать урожайность культур, чувствительных к высоким температурам. В условиях Таджикистана, где сельское хозяйство во многом зависит от ирригации и стабильности водообеспечения, данный фактор приобретает особую значимость.

Таким образом, температурные данные за 1990–2024 гг. подтверждают наличие статистически значимого потепления в исследуемом сельскохозяйственном регионе. Наиболее существенные изменения происходят в весенне-летний период, то есть именно в те месяцы, которые имеют ключевое значение для формирования урожая. Это позволяет рассматривать повышение температуры как один из значимых климатических факторов риска для аграрного сектора и продовольственной безопасности Таджикистана. В дальнейшем данный показатель целесообразно использовать в корреляционно-регрессионном анализе совместно с урожайностью основных сельскохозяйственных культур, годовыми и вегетационными осадками, а также экономическими индикаторами сельскохозяйственного производства.

Анализ данных FAOSTAT за 1993–2024 гг. показывает, что аграрный сектор Республики Таджикистан в период независимого развития характеризуется устойчивым долгосрочным ростом производственного потенциала (таблица 1,2).

Таблица 1 – Производственно-экономические показатели производства зерновых культур в Таджикистане

Показатели	1992 год	2024 год	Абсолютные изменения (+,-)	Темп роста (%)
Площадь посева зерновых культур, тыс. га	273,5	376,5	+103,3	+37,7
Урожайность, ц/га	9,94	41,24	+31,3	+315,0
Валовой сбор, тыс. тонн	271,7	1552,5	+1280,8	+471,3

Валовой индекс сельскохозяйственного производства увеличился с 44,71 пункта в 1993 г. до 168,49 пункта в 2024 г., то есть вырос на 276,9 %. Минимальное значение было зафиксировано в 1999 г. – 32,73 пункта, максимальное – в 2024 г. – 168,49 пункта. Это свидетельствует о прохождении аграрным сектором сложного трансформационного периода 1990-х годов и последующем восстановительном и интенсивном росте.

Таблица 2 – Статистические и корреляционные взаимосвязи факторов зернового производства Таджикистана за период 1992-20024 гг.

№	Показатели	Значения
1	Посевная площадь	
1.1	Средняя площадь посева, тыс. га	379,8
1.2	Минимальная площадь посева, тыс. га	244,6
1.3	Максимальная площадь посева, тыс. га	448,8
1.4	Коэффициент вариации площади посева за анализируемый период, %	13,2
2	Урожайность зерновых культур, ц/га	
2.1	Средняя урожайность, ц/га	24,43
2.2	Минимальная урожайность, ц/га	8,81
2.3	Максимальная урожайность, ц/га	41,24

Продолжение таблицы 2

2.4	Коэффициент вариации урожайности зерновых культур за анализируемый период, %	43,0
2.5	Линейный тренд изменения урожайности зерновых культур ц/га за десятилетие	+10,66
2.6	Коэффициент детерминации R ²	0,962
2.7	Уровень значимости	p < 0,001
3	Валовой сбор зерна, тыс. тонн	
3.1	Средний валовой сбор, тыс. тонн	949,6
3.2	Минимальный валовой сбор за анализируемый период, тыс. тонн	215,4
3.3	Максимальный валовой сбор за анализируемый период, тыс. тонн	1552,5
3.4	Коэффициент вариации, %	45,5
3.5	Линейный тренд изменения валового сбора за десятилетие, тыс. тонн	+4 24,8
3.6	Коэффициент детерминации R ²	0,905
3.7	Уровень значимости	p < 0,001
4	Корреляционные взаимосвязи факторов зернового производства	
4.1	Валовой сбор и урожайность зерновых культур, очень сильная положительная связь	r = 0,984
4.2	Валовой сбор и площадь посева зерновых культур, умеренная положительная связь	r = 0,564

Линейный тренд валового индекса сельскохозяйственного производства является положительным и статистически значимым. В среднем показатель увеличивался на 45,7 пункта за десятилетие при $R^2 = 0,894$ и $p < 0,001$. Это означает, что большая часть долгосрочной динамики сельскохозяйственного производства объясняется устойчивым восходящим трендом, а не случайными колебаниями. В расчете на душу населения индекс сельскохозяйственного производства также вырос, но менее значительно: с 67,59 пункта в 1993 г. до 137,69 пункта в 2024 г., или на 103,7 %. Данный результат показывает, что рост аграрного производства опережал демографическое давление, однако высокая численность и рост населения частично снижали эффект увеличения валового производства с точки зрения продовольственной обеспеченности населения.

Особенно важна динамика первичных зерновых культур, поскольку зерновой сектор выступает одним из базовых элементов продовольственной безопасности. Валовой индекс производства первичных зерновых культур увеличился с 20,66 пункта в 1993 г. до 119,61 пункта в 2024 г., то есть вырос на 478,9 %. Минимальное значение наблюдалось в 1994 г. – 16,74 пункта, максимальное – в 2024 г. – 119,61 пункта. Такой рост свидетельствует о существенном укреплении зернового производства за годы независимости.

Тренд индекса производства зерновых также является статистически значимым: показатель увеличивался в среднем на 32,4 пункта за десятилетие при $R^2 = 0,904$ и $p < 0,001$. Это подтверждает устойчивое расширение производственной базы зернового сектора. При этом коэффициент вариации индекса производства зерновых составил 42,9 %, что указывает на значительную изменчивость данного показателя и сохраняющуюся зависимость зернового производства от природно-климатических, водных и технологических факторов.

В то же время индекс производства зерновых в расчете на душу населения демонстрирует менее устойчивую динамику. Он вырос с 31,20 пункта в 1993 г. до 97,66 пункта в 2024 г., или на 213,0 %, однако максимальное значение было достигнуто не в 2024 г., а в 2009 г. – 122,63 пункта. В 2020–2024 гг. среднее значение данного показателя составило 94,59 пункта, что ниже уровня 2010–2019 гг. – 98,70 пункта. Это означает, что несмотря на рост валового производства зерновых, обеспечение зерновой продукцией в расчете на душу населения не демонстрирует столь же устойчивого повышения.

Сравнение этапов развития показывает выраженную структурную динамику. В 1993–1999 гг. средний индекс сельскохозяйственного производства составлял 37,57 пункта, в 2000–2009 гг. – 53,82 пункта, в 2010–2019 гг. – 104,68 пункта, а в 2020–2024 гг. – уже 157,40 пункта. Аналогично индекс производства зерновых вырос с 29,46 пункта в 1993–1999 гг. до 111,34 пункта в 2020–2024 гг. Это подтверждает переход от кризисно-восстановительного этапа к этапу устойчивого роста аграрного производства.

Корреляционный анализ показывает тесную связь между развитием сельского хозяйства в целом и зернового сектора. Коэффициент корреляции между валовым индексом сельскохозяйственного производства и валовым индексом производства зерновых составляет $r = 0,841$. Это свидетельствует о том, что зерновое производство является одним из значимых компонентов общей динамики аграрного сектора Таджикистана. При этом связь между валовым индексом производства зерновых и его показателем на душу населения является еще более высокой – $r = 0,931$, что подтверждает прямую роль зернового производства в формировании продовольственной обеспеченности населения.

Полученные результаты позволяют сделать важный агроэкономический вывод: за период 1993–2024 гг. Таджикистан добился существенного роста сельскохозяйственного и зернового производства, однако рост валовых показателей не полностью трансформируется в устойчивое улучшение продовольственной обеспеченности на душу населения. Это связано с демографическим ростом, ограниченностью земельных и водных ресурсов, а также сохраняющейся чувствительностью аграрного производства к климатическим условиям.

С точки зрения продовольственной безопасности наиболее значимым является то, что валовой рост зернового производства сопровождается нестабильностью душевых показателей. Это означает, что дальнейшее укрепление продовольственной безопасности Таджикистана должно опираться не только на увеличение общего объема производства, но и на повышение урожайности, снижение потерь, развитие орошения, повышение устойчивости к засухам, модернизацию агротехнологий и повышение эффективности агропродовольственных цепочек.

Следовательно, данные FAOSTAT подтверждают, что аграрный сектор Таджикистана демонстрирует устойчивую положительную динамику, однако продовольственная безопасность остается чувствительной к сочетанию трех факторов: климатической изменчивости, демографического давления и эффективности сельскохозяйственного производства. В последующем результаты статистико-экономической оценки целесообразно использовать валовой индекс производства зерновых и индекс производства зерновых на душу населения как ключевые зависимые переменные, отражающие производственный и продовольственный аспекты устойчивости аграрного сектора.

Анализ данных FAOSTAT по Республике Таджикистан за 2000–2024 гг. показывает устойчивое повышение уровня экономического развития страны, выраженного через показатель валового внутреннего продукта на душу населения по паритету покупательной способности в постоянных международных долларах 2021 г. Данный показатель является важным косвенным индикатором экономической доступности продовольствия, поскольку отражает общий уровень доходной базы населения и потенциал внутреннего спроса на продовольственные товары.

В 2000 г. ВВП на душу населения составлял 1365 международных долларов на человека, а к 2024 г. увеличился до 4756 международных долларов на человека. Абсолютный прирост за рассматриваемый период составил 3391 международный доллар, или 248,4 %. Таким образом, за 2000–2024 гг. показатель увеличился почти в 3,5 раза, что свидетельствует о существенном росте экономического потенциала страны. Среднее значение ВВП на душу населения за 2000–2024 гг. составило 2808,4 международных доллара, медианное значение – 2700 международных долларов. Минимальное значение наблюдалось в 2000 г. – 1365 международных долларов, максимальное – в 2024 г. – 4756 международных долларов. Коэффициент вариации составил 34,1 %, что отражает существенную межгодовую изменчивость показателя, обусловленную прежде всего его долгосрочным восходящим трендом. Линейный тренд ВВП на душу населения является положительным и статистически значимым. В среднем показатель увеличивался на 1289,8 международных доллара за десятилетие при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,980$ и уровне значимости $p < 0,001$. Это означает, что динамика ВВП на душу населения в Таджикистане за 2000–2024 гг. характеризуется крайне устойчивым ростом, а временной тренд объясняет около 98,0 % вариации показателя.

Среднегодовой темп прироста за весь период составил около 5,34 %. Наиболее высокие годовые темпы роста наблюдались в начале 2000-х годов, когда экономика восстанавливалась после кризисного периода 1990-х годов. Максимальный годовой прирост был зафиксирован в 2003 г. – около 8,9 %. Наиболее низкие темпы прироста наблюдались в 2009 г. – около 1,8 % и 2020 г. – около 2,1 %, что может отражать влияние внешнеэкономических шоков и глобальной нестабильности на развитие национальной экономики.

Сравнение по этапам показывает последовательное повышение уровня ВВП на душу населения. В 2000–2009 гг. среднее значение составляло 1891,0 международный доллар, в 2010–2019 гг. – 3014,7 международного доллара, а в 2020–2024 гг. – 4230,6 международного доллара. Следовательно, каждый последующий этап характеризовался более высоким уровнем экономического развития. При этом относительный прирост внутри периодов постепенно снижался: в 2000–2009 гг. показатель вырос на 72,2 %, в 2010–2019 гг. – на 49,0 %, а в 2020–2024 гг. – на 27,7 %. Это указывает на сохранение положительной динамики при постепенном замедлении относительных темпов роста по мере повышения исходной базы.

С позиции продовольственной безопасности рост ВВП на душу населения имеет важное значение. Увеличение данного показателя расширяет экономические возможности домашних хозяйств, повышает потенциальную платежеспособность населения и способствует улучшению экономической доступности продовольствия. Однако ВВП на душу населения является агрегированным макроэкономическим индикатором и не отражает распределение доходов, уровень бедности, региональные различия, структуру потребления и реальные расходы домашних хозяйств на продовольствие. Поэтому его нельзя напрямую отождествлять с фактическим улучшением питания населения. Для аграрного сектора рост ВВП на душу населения означает формирование более емкого внутреннего рынка продовольствия и повышение спроса на продукцию сельского хозяйства. Вместе с тем увеличение доходов населения может сопровождаться изменением структуры потребления: ростом спроса на более

качественные, переработанные и разнообразные продукты питания. Это повышает требования к эффективности агропродовольственных цепочек, переработке, хранению, логистике и стабильности внутреннего производства.

Проведенный анализ показывает, что, данные FAOSTAT за 2000–2024 гг. показывают устойчивый рост ВВП на душу населения в Таджикистане. С точки зрения исследуемой проблемы данный показатель следует рассматривать как косвенный индикатор экономической доступности продовольствия и платежеспособного спроса. Однако для комплексной оценки продовольственной безопасности его необходимо анализировать совместно с показателями сельскохозяйственного производства, урожайности зерновых, импорта продовольствия, численности населения, цен на продовольствие и климатических факторов. В статистико-экономической оценке ВВП на душу населения может использоваться как объясняющая переменная, характеризующая экономический доступ населения к продовольствию и общий уровень социально-экономического развития страны.

Заключение. Проведенное исследование позволило выполнить комплексную статистико-экономическую оценку влияния климатических изменений на продовольственную безопасность Республики Таджикистан на основе длительных сопоставимых рядов официальной статистики, данных FAOSTAT, Всемирного банка и NASA POWER. Анализ охватил климатические, производственные и социально-экономические показатели за период независимого развития страны, что обеспечило возможность выявления устойчивых долгосрочных закономерностей развития аграрного сектора. Установлено, что ключевой особенностью современных климатических изменений является статистически значимое повышение температуры воздуха, прежде всего в весенне-летний и вегетационный периоды, при отсутствии статистически значимого изменения годовой суммы атмосферных осадков. Основной климатический риск обусловлен не сокращением общего количества осадков, а усилением их межгодовой и сезонной неравномерности, что увеличивает вероятность возникновения дефицита влаги в наиболее ответственные фазы формирования урожая. Показано, что за годы независимости Таджикистан добился существенного роста сельскохозяйственного производства. Урожайность зерновых культур увеличилась более чем в четыре раза, тогда как площадь посевов возросла менее чем на 40 %, что свидетельствует о переходе к преимущественно интенсивной модели развития зернового хозяйства. При этом выявленная очень сильная корреляционная связь между урожайностью и валовым сбором подтверждает определяющую роль повышения продуктивности в обеспечении роста производства зерна. Одновременно установлено, что увеличение валового производства не обеспечивает эквивалентного роста производства зерна в расчете на душу населения вследствие сохраняющегося демографического давления и ограниченности земельных и водных ресурсов. Следовательно, дальнейшее укрепление продовольственной безопасности требует не экстенсивного расширения сельскохозяйственного производства, а повышения эффективности использования природных ресурсов, внедрения современных агротехнологий, совершенствования ирригационных систем и повышения климатической устойчивости аграрного сектора.

Перспективным направлением дальнейших исследований является построение интегрированной экономико-математической модели прогнозирования продовольственной безопасности Республики Таджикистан, основанной на совместном использовании климатических сценариев, показателей сельскохозяйственного производства, макроэкономических индикаторов и современных методов эконометрического моделирования. Такой подход позволит перейти от статистической оценки текущих тенденций к научно обоснованному прогнозированию развития агропродовольственной системы в условиях продолжающихся климатических изменений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Egamberdiev, B., Bobojonov, I., Kuhn, L. et al. **Consequences of increased farm resilience on food security in Tajikistan.** [Text] / B.Egamberdiev, I. Bobojonov, L. Kuhn, et al. // Food Sec.- 2026.- Vol. 18, pp. 443–464. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-025-01623-8>.
2. Khakimov, P., Aliev, J., Thomas, T., Ilyasov, J. & Dunston, S., **Climate Change Effects on Agriculture and Food Security in Tajikistan.** [Text] /P. Khakimov, J. Aliev, T.Thomas, J. Ilyasov. & S. Dunston // Silk Road: A Journal of Eurasian Development. – 2020. – Vol. 2(1), – pp. 89–112. DOI: <https://doi.org/10.16997/srjed.33>.
3. Bobojonov, Ihtiyor; Kuhn, Lena; Egamberdiev, Bekhzod; Glauben, Thomas; Lambrecht, Isabel B.; and Akramov, Kamiljon T. [Text] / I. Bobojonov, L.Kuhn, B. Egamberdiev, T. Glauben, I. Lambrecht and K.T. Akramov //Consequences of increased farm resilience on food security in Tajikistan. Food Security. – 2026. – Vol. 18, pp. 443-464. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12571-025-01623-8>.
4. **Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 года.** [Электронный ресурс] – URL: <https://ncz.tj/file/национальная-стратегия-развития-республики-таджикистан-на-период-до-2030-годаpdf-1> (Дата обращения 11 января 2026 г.).
5. **Национальная стратегия адаптации к изменению климата до 2030 года.** [Электронный ресурс] – URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/taj190980.pdf> (Дата обращения 15 января 2026 г.).

6. **Программа реформирования водного сектора на 2016–2025 годы.** [Электронный ресурс] – URL: https://prg.kz/document/?doc_id=38066588 (Дата обращения 10 января 2026 г.).
7. **Государственная программа развития новых орошаемых земель и восстановления земель сельскохозяйственного назначения на 2022–2027 годы.** [Электронный ресурс] – URL: <https://www.wis.tj/wp-content/uploads/2023/02/Государственная-программа-по-освоению-новых-орошаемых-земель-и-восстановлению-вышедших-из-сельскохозяйственного-оборота-земель.pdf> (Дата обращения 20 января 2026 г.).
8. **Концепцию создания и развития агропромышленных кластеров до 2040 года.** [Электронный ресурс] – URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/taj221482.pdf> (Дата обращения 12 ноября 2025 г.).
9. **Стратегия развития «зеленой» экономики на 2023–2037 годы.** [Электронный ресурс] – URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/taj221507.pdf> (Дата обращения 22 ноября 2025 г.).
10. **Программа цифровизации сельского хозяйства на 2025–2030 годы.** [Электронный ресурс] – URL: <https://www.fao.org/europe/news/detail/tajikistan-adopts-programme-for-the-digitalization-of-the-agricultural-sector-with-fao-support/ru> (Дата обращения 30 ноября 2025 г.) (почему тут названия статей не в именительном падеже?).
11. **Статистические сборники Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан (TAJSTAT)** [Электронный ресурс] – URL: <https://www.stat.tj/ru/> (Дата обращения 1 ноября 2025 г.).
12. **FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. FAO. doi.org FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World, 2024.** [Electronic resource] – URL: <https://www.fao.org>. <https://openknowledge.fao.org/items/ebe19244-9611-443c-a2a6-25cec697b361> (accessed 23 September 2025).
13. **Food and Agriculture Organization of the United Nations** [Electronic resource] – URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QI> (accessed 30 September 2025).
14. **NASA POWER Project. Meteorological and Solar Data, 2025.** [Electronic resource] – URL: <https://power.larc.nasa.gov> (accessed 21 February 2026).
15. **Ismuratova G.S., Akhmetkali T.A., Tobylov K.T. Economic assessment of agricultural adaptation strategies to climate change in the context of agrarian system transformation.** [Text] /G.S. Ismuratova, T.A. Akhmetkali, K.T. Tobylov // 3i: Intellect, Idea, Innovation: Multidisciplinary Scientific Journal of Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University. – 2025. – No. 4. Part 31, December, pp. 237- 247. DOI: <https://doi.org/10.52269/NDTG2541237>. (In Kazakh)

REFERENCES:

1. **Egamberdiev, B., Bobojonov, I., Kuhn, L. et al. Consequences of increased farm resilience on food security in Tajikistan.** Food Sec. 2026. Vol. 18, pp. 443–464. <https://doi.org/10.1007/s12571-025-01623-8>.
2. **Khakimov, P., Aliev, J., Thomas, T., Ilyasov, J. & Dunston, S., Climate Change Effects on Agriculture and Food Security in Tajikistan.** Silk Road: A Journal of Eurasian Development. 2020. Vol. 2(1), pp. 89–112. <https://doi.org/10.16997/srjed.33>.
3. **Bobojonov, Ihtiyor; Kuhn, Lena; Egamberdiev, Bekhzod; Glauben, Thomas; Lambrecht, Isabel B.; and Akramov, Kamiljon T. Consequences of increased farm resilience on food security in Tajikistan.** Food Security. 2026. Vol. 18, pp. 443-464. <https://doi.org/10.1007/s12571-025-01623-8>.
4. **Nacional'naja strategija razvitija Respubliki Tadjikistan na period do 2030 goda.** Available at: <https://ncz.tj/file/национальная-стратегия-развития-республики-таджикистан-на-период-до-2030-годаpdf-1> (Accessed January 11, 2026). (In Russian)
5. **Nacional'naja strategija adaptacii k izmeneniju klimata do 2030 goda,** Available at: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/taj190980.pdf> (Accessed January 15, 2026.). (In Russian)
6. **Programma reformirovanija vodnogo sektora na 2016–2025 gody,** Available at: https://prg.kz/document/?doc_id=38066588 (Accessed January 10, 2026). (In Russian)
7. **Gosudarstvennuju programmu razvitija novyh oroshaemyh zemel' i vosstanovlenija zemel' sel'skhozjajstvennogo naznachenija na 2022–2027 gody.** Available at: <https://www.wis.tj/wp-content/uploads/2023/02/Государственная-программа-по-освоению-новых-орошаемых-земель-и-восстановлению-вышедших-из-сельскохозяйственного-оборота-земель.pdf> (Accessed January 20, 2026). (In Russian)
8. **Koncepciju sozdaniya i razvitija agropromyshlennyh klasterov do 2040 goda.** Available at: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/taj221482.pdf> (Accessed November 12, 2025). (In Russian)
9. **Strategiju razvitija «zelenoj» jekonomiki na 2023–2037 gody.** Available at: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/taj221507.pdf> (Accessed November 22, 2025). (In Russian)
10. **Programmu cifrovizacii sel'skogo hozjajstva na 2025–2030 gody.** Available at: <https://www.fao.org/europe/news/detail/tajikistan-adopts-programme-for-the-digitalization-of-the-agricultural-sector-with-fao-support/ru> (Accessed November 30, 2025). (In Russian)

11. **Statisticheskie sborniki Agentstva po statistike pri Prezidente Respubliki Tadjikistan** (TAJSTAT) Available at: <https://www.stat.tj/ru/> (Accessed November 1, 2025). (In Russian)
12. **FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. FAO. doi.org FAO.** The State of Food Security and Nutrition in the World, 2024. Available at: <https://www.fao.org>. <https://openknowledge.fao.org/items/ebe19244-9611-443c-a2a6-25cec697b361> (Accessed 23 September 2025).
13. **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Available at: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QI> (Accessed 30 September 2025).
14. **NASA POWER Project. Meteorological and Solar Data, 2025.** [Available at: <https://power.larc.nasa.gov> (Accessed 21 February 2026).
15. **Ismuratova G.S., Akhmetkali T.A., Tobylov K.T. Economic assessment of agricultural adaptation strategies to climate change in the context of agrarian system transformation.** 3i: Intellect, Idea, Innovation: Multidisciplinary Scientific Journal of Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University. 2025. No. 4. Part 31, December, pp. 237- 247. <https://doi.org/10.52269/NDTG2541237>. (In Kazakh)

Сведения об авторах:

Асоев Баходур Хайридинович – кандидат экономических наук, доцент, декан факультета цифровой экономики и финансов, Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана, 735140, Республика Таджикистан, Хатлонская область, г. Куляб, улица Борбад, e-mail: asoev_86@bk.ru, тел.: (+992)985247082.

Наурызбаева Камила Болатбековна – руководитель группы запуска новых проектов, завод «Аллюр», ТОО «СарыаркаАвтоПром», Республика Казахстан, г. Костанай, Промышленная, 41, e-mail: kamila08saveme80d@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9646-9573>.*

Абдуллозода Хабибулло Абдулло – старший преподаватель кафедры «Государственный язык и современный иностранный язык», Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана, Республика Таджикистан, г. Куляб, 735360, e-mail: habibullon@gmail.com.

Ахмедзода Зебинисо Партов – кандидат педагогических наук, Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана, 735360, Республика Таджикистан, Хатлонская область, г. Куляб, ул. Борбад, e-mail: zebo.a26@gmail.com, тел.: 988350555.

Асоев Баходур Хайридинович – экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), цифрлық экономика және қаржы факультетінің деканы, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті, Тәжікстан Республикасы, 735140, Хатлон облысы, Куляб қ., Борбад көш., e-mail: asoev_86@bk.ru, тел.: (+992)985247082.

Наурызбаева Камила Болатбекқызы – «СарыаркаАвтоПром» ЖШС «Аллюр» зауытының жаңа жобаларды іске қосу тобының жетекшісі, Қазақстан Республикасы 110000, Қостанай қ., e-mail: kamila08saveme80d@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9646-9573>.*

Абдуллозода Хабибулло Абдулло – «Мемлекеттік тіл және қазіргі заманғы шетел тілдері» кафедрасының аға оқытушысы, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті, Тәжікстан Республикасы, 735360, Хатлон облысы, Куляб қ., Борбад көш., e-mail: habibullon@gmail.com.

Ахмедзода Зебинисо Партов – педагогика ғылымдарының кандидаты, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті, Тәжікстан Республикасы, 735140, Хатлон облысы, Куляб қ., Борбад көш., e-mail: zebo.a26@gmail.com, тел.: 988350555.

Asoev Bahodur Khayridinovich – Tajikistan University of innovation and digital technologies, PhD in Economics, associate professor, Dean of the faculty of digital economy and finance. Address: 735140, Republic of Tajikistan, Khatlon region, Kulob city, Borbad street, e-mail: asoev_86@bk.ru, phone: (+992)985247082.

Naurzabayeva Kamila – Head of the new projects launch team, Allur plant, SaryarkaAvtoProm LLP, Republic of Kazakhstan, Kostanay, Promyshlennaya 41, e-mail: kamila08saveme80d@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9646-9573>.*

Abdullozoda Habibullo Abdullo – Senior teacher of the Department “State language and modern foreign languages” of the Tajikistan University of Innovation and Digital Technologies, Republic of Tajikistan, Kulob city, e-mail: habibullon@gmail.com.

Akhmedzoda Zebiniso Partov – Cand. Ped. Sci., Tajikistan University of Innovations and Digital Technologies 735360, Republic of Tajikistan, Khatlon region, Kulob city, Borbad street, Research interests – pedagogy and natural sciences, e-mail: zebo.a26@gmail.com, phone: 988350555.

IRSTI 06.71; 06.35.51

UDC 338.43

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621303>**AGROCLIMATIC DETERMINANTS OF WHEAT YIELD AND WHEAT PRODUCTION PROFITABILITY**

Ismuratova G.S.* – Doctor of Economic Sciences, Professor, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Academician of the International Academy of Agricultural Education, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Akhmetkali T.A. – PhD student, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Naurzbayeva K.B. – Head of the New Projects Launch Team, Allur plant, SaryarkaAvtoProm LLP, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Naurzbayev B.T. – Candidate of Economic Sciences, Agronomist, Head of a peasant farm, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Climate change has become a major challenge for agricultural production, particularly in regions characterized by high climatic variability and frequent weather extremes. This study investigates the relationship between climatic factors, wheat yield, and economic performance in the Kostanay Region of Northern Kazakhstan during 1990–2024. The research combines correlation analysis, regression modeling and geospatial analysis to identify the key drivers of yield variability and to develop a predictive framework for agricultural decision-making.

The results demonstrate that precipitation during the growing season, particularly in June and July, has the strongest positive influence on wheat productivity, whereas increasing summer temperatures negatively affect yields. The analysis also reveals a strong relationship between yield levels and economic indicators, including profitability and profit per unit of production. A Random Forest model achieved high forecasting accuracy ($R^2 = 0.79$), identifying July precipitation, June temperature, precipitation concentration, and drought duration as the most important predictors.

The findings highlight the importance of climate-informed forecasting tools for improving agricultural resilience and support the development of adaptive strategies aimed at reducing climate-related risks in Northern Kazakhstan.

Key words: climate change, wheat production, agricultural economics, production profitability, agroclimatic factors, yield variability, climate risks, economic efficiency, yield forecasting, Northern Kazakhstan.

**БИДАЙ ӨНІМДІЛІГІ МЕН ӨНДІРІС РЕНТАБЕЛЬДІЛІГІН
АЙҚЫНДАЙТЫН АГРОКЛИМАТТЫҚ ФАКТОРЛАР**

Исмурадова Г.С.* – экономика ғылымдарының докторы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қаласы, Қазақстан Республикасы, Халықаралық ауылшаруашылық білім беру академиясының академигі.

Ахметқали Т.А. – экономика және қаржы кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қаласы, Қазақстан Республикасы.

Наурзбаева К.Б. – «СарыаркаАвтоПром» ЖШС «Аллур» зауытының жаңа жобаларды іске қосу тобының жетекшісі, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Наурзбаев Б.Т. – Экономика ғылымдарының кандидаты, агроном, шаруа қожалығының басшысы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Климаттың өзгеруі ауыл шаруашылығы өндірісі үшін, әсіресе климаттық құбылмалылығы жоғары және экстремалды ауа райы құбылыстары жиі байқалатын өңірлерде, негізгі сын-қатерлердің біріне айналды. Осы зерттеуде 1990–2024 жылдар аралығындағы Солтүстік Қазақстанның Қостанай облысындағы климаттық факторлар, бидай өнімділігі және ауыл шаруашылығы өндірісінің экономикалық тиімділігі арасындағы өзара байланыс қарастырылған. Зерттеу өнімділік өзгергіштігінің негізгі факторларын анықтау және аграрлық секторда басқарушылық шешімдер қабылдауға арналған болжамдық негіз қалыптастыру мақсатында корреляциялық талдау, регрессиялық модельдеу және геокеңістіктік талдау әдістерін біріктіреді.

Зерттеу нәтижелері вегетациялық кезеңдегі жауын-шашынның, әсіресе маусым мен шілде айларындағы жауын-шашын мөлшерінің, бидай өнімділігіне ең күшті оң әсер ететінін көрсетті. Ал жазғы ауа температурасының жоғарылауы өнімділікке теріс ықпал етеді. Сонымен қатар, талдау өнімділік деңгейі мен экономикалық көрсеткіштер, соның ішінде өндіріс рентабельділігі мен өнім бірлігіне шаққандағы пайда арасындағы тығыз байланысты анықтады. Random Forest моделі жоғары болжау дәлдігін көрсетті ($R^2 = 0.79$), мұнда шілде айындағы жауын-шашын мөлшері, маусым айындағы ауа температурасы, жауын-шашынның шоғырлану индексі және құрғақшылық кезеңдерінің ұзақтығы

өнімділіктің ең маңызды предикторлары ретінде айқындалды. Алынған нәтижелер ауыл шаруашылығы өндірісінің орнықтылығын арттыру үшін климаттық факторларды ескеретін болжау құралдарын пайдаланудың маңыздылығын дәлелдейді және Солтүстік Қазақстандағы климаттық тәуекелдерді төмендетуге бағытталған бейімделу стратегияларын әзірлеудің ғылыми негізін қалыптастырады.

Түйінді сөздер: климаттың өзгеруі; бидай өндірісі; аграрлық экономика; өндіріс рентабельділігі; агроклиматтық факторлар; өнімділік өзгергіштігі; климаттық тәуекелдер; экономикалық тиімділік; өнімділікті болжау; Солтүстік Қазақстан.

АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ И РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПШЕНИЦЫ

Исмурадова Г.С.* – доктор экономических наук, профессор, Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, академик Международной академии аграрного образования.

Ахметқали Т.А. – докторант Ph.D; Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы.

Наурзбаева К.Б. – руководитель группы запуска новых проектов, завод «Аллюр», ТОО «СарыаркаАвтоПром», Республика Казахстан, г. Костанай.

Наурзбаев Б.Т. – кандидат экономических наук, учёный агроном, глава крестьянского хозяйства, Республика Казахстан, Костанай.

Изменение климата стало одним из ключевых вызовов для сельскохозяйственного производства, особенно в регионах, характеризующихся высокой климатической изменчивостью и частыми экстремальными погодными явлениями. В настоящем исследовании рассматривается взаимосвязь между климатическими факторами, урожайностью пшеницы и экономической эффективностью сельскохозяйственного производства в Костанайской области Северного Казахстана за период 1990–2024 гг. Исследование основано на применении корреляционного анализа, регрессионного моделирования и геопространственного анализа с целью выявления основных факторов, определяющих вариацию урожайности, а также разработки прогностической основы для поддержки принятия решений в аграрном секторе.

Результаты показали, что наибольшее положительное влияние на продуктивность пшеницы оказывают осадки в период вегетации, особенно в июне и июле, тогда как повышение летних температур оказывает отрицательное воздействие на урожайность. Анализ также выявил тесную взаимосвязь между уровнем урожайности и экономическими показателями, включая рентабельность и прибыль на единицу произведённой продукции. Модель Random Forest продемонстрировала высокую точность прогнозирования ($R^2 = 0,79$), определив осадки июля, температуру июня, индекс концентрации осадков и продолжительность засушливых периодов в качестве наиболее значимых предикторов урожайности. Полученные результаты подтверждают важность использования климатически ориентированных инструментов прогнозирования для повышения устойчивости сельскохозяйственного производства и обосновывают необходимость разработки адаптационных стратегий, направленных на снижение климатических рисков в Северном Казахстане.

Ключевые слова: изменение климата; производство пшеницы; аграрная экономика; рентабельность производства; агроклиматические факторы; вариабельность урожайности; климатические риски; экономическая эффективность; прогнозирование урожайности; Северный Казахстан.

Introduction.

Climate change has emerged as one of the principal factors influencing the sustainability of agricultural production worldwide. Its impacts are particularly pronounced in regions characterized by high climatic variability, where crop productivity depends not only on the total amount of precipitation but also on its seasonal distribution throughout the growing period. The Kostanay Region of the Republic of Kazakhstan is one of the country's leading grain-producing areas and is located within the zone of high-risk rainfed agriculture. A defining climatic characteristic of the region is the uneven seasonal distribution of precipitation. During recent decades, climate variability has intensified, resulting in excessive rainfall during spring and autumn and increasing moisture deficits throughout the summer growing season. These changes substantially increase production risks because spring wheat cultivation depends on a narrow sowing window extending from mid-May to early June. Deviations from the optimum sowing period adversely affect crop establishment, delay maturation, and ultimately reduce both yield and economic performance.

Long-term observations indicate that under moderate air temperatures (25–27 °C), wheat yields may exceed 10 centners per hectare even under relatively limited precipitation. In contrast, combinations of high temperatures (above 30 °C) and moisture deficits frequently reduce yields to below 7 centners per hectare. When adequate precipitation occurs during the growing season and dry weather prevails during harvesting, yields commonly exceed 15 centners per hectare. These observations demonstrate the high sensitivity of

wheat production to hydrothermal conditions and emphasize the necessity of incorporating climatic factors into agricultural adaptation strategies.

Increasing climatic instability has also intensified the economic vulnerability of agricultural production by directly affecting crop yields, production costs, farm income, and profitability. Under these conditions, quantitative assessment of climatic impacts and the development of reliable yield forecasting models have become essential components of agricultural decision-making, enabling producers and policymakers to improve production efficiency and strengthen climate adaptation. Although numerous studies have examined the effects of climate change on crop productivity, the relationships between climatic factors, wheat yield, and the economic performance of wheat production in Northern Kazakhstan remain insufficiently investigated. In particular, relatively few studies integrate long-term climatic observations, yield dynamics, and economic indicators within a unified analytical framework using modern statistical techniques and machine-learning methods.

The objective of this study is to identify the agroclimatic factors determining wheat yield and production profitability in the Kostanay Region and to develop a predictive model for assessing the effects of climate variability on agricultural production efficiency.

To achieve this objective, the following research tasks were addressed:

- to analyses long-term trends in climatic variables and wheat yield during 1990–2024;
- to evaluate the statistical relationships between climatic factors, wheat yield, and the economic performance of wheat production;
- to identify the principal climatic predictors affecting yield formation;
- to develop a wheat yield forecasting model using machine-learning techniques;
- to assess the effects of climate variability on production profitability and formulate recommendations aimed at improving the climate resilience of the regional agricultural sector.

The remainder of the paper is organized as follows. The next section reviews the relevant literature and presents the theoretical background. This is followed by a description of the research methodology, presentation and analysis of the empirical results, discussion of their economic implications, and concluding remarks outlining practical recommendations for climate adaptation in wheat production.

Materials and methods. Climate change and its consequences for the agricultural sector have been the subject of active scientific discussion around the world over the past two decades – particularly intensifying in the last five years. Researchers largely agree that while several climatic factors affect the yield of agricultural crops, the most critical are changes in air temperature and variations in the amount of precipitation during the plant growing season [1,2,3,4,5].

At the global level, numerous studies have assessed the impact of climate change on wheat yields, recognizing wheat as one of the most strategically important food crops. According to research groups from the United States and the European Union, extreme weather events – particularly heatwaves, droughts, and floods during seasonal rains – cause substantial damage to agricultural production. For instance, the study by Lobell and Field identified a persistent negative correlation between rising average air temperatures during the growing season and wheat yields in countries with continental climates [1].

In Kazakhstan, the impact of natural and climatic factors on wheat yield has also been studied across various grain-producing regions. A team of researchers led by Zhumagulov [6] and Teleubay [7] examined the effects of atmospheric precipitation on the yield spring wheat and barley in the dry steppe zone of Northern Kazakhstan. Identifying a strong correlation between precipitation in June-July and crop yield. Suleimenov and Akshalov evaluated summer following practices negatively in northern Kazakh soils, arguing there are ineffective for reducing climate-related risks [8]. In contrast, Walet et al., presented an opposing viewpoint, emphasizing the potential of fallow crop rotations and agroforestry as climate change adaptation strategies that enhance the economic efficiency of production [9].

Recent publications in MDPI journals (e.g., *Agronomy*, *Agriculture*) have contributed to the body of research on climate change effects on crop productivity, particularly wheat. In particular, the journal *Agronomy* published a study that employed the SALTMED model to evaluate the effects of different irrigation levels and nitrogen fertilizer rates on weak growth under climate change conditions. The results indicated that climate change poses new threats to wheat growth in the future, thereby requiring the development of technologically resilient production strategies [10]. In the journal *Agriculture*, a study was presented assessing the impact of climate change on winter wheat yields in five major counties in Texas. Using the APEX model and CMIP5 climate projections, the researchers found that despite the expected rise in air temperature, winter wheat yields may increase in the future due to the accompanying rise in precipitation. This trend is seen as contributing to the improved efficiency of wheat grain production in northern Texas counties [11].

In addition, a study published in the *Agro-Geoinformatics* proceedings applied machine learning models to produce a high-precision forecast of crop yields. The authors utilized remote sensing data, end (NDVI, EVI), climate indicators and historical statistics. The study assessed the long-term effects of air temperature, precipitation, fertilizer use, electricity consumption, sown area, and labor input on wheat production in Hubei Province, China. The results showed that air temperature, precipitation, fertilizer application, electricity consumption, and labor input all had a strong positive influence on agricultural output, whereas the sown area was negatively correlated with production [12].

Researchers in Turkey, using Copernicus (EU) data, examined the influence of climatic variables – temperature, humidity, and precipitation – on wheat yield dynamics over the period 1990-2024. A neural network model was developed to assess both the positive and negative effects of climate change on agricultural productivity [13]. Convolutional neural networks [14], as well as research conducted under the conditions of Pakistan, have demonstrated that integrating diverse data sources (NDVI, EVI, ARVI) with climatic variables and machine learning algorithms (e.g. Random Forest Gradient Boosting) enables effective yield prediction and adaptation to arid environments [15]. This approach is highly relevant for regions such as Kostanay, where forecasting accuracy is essential due to the area's classification as a risk-prone agricultural zone. In Sweden, Sentinel-1 satellite data and meteorological indicators have been incorporated into LGBM and neural network models to forecast wheat yield with R² values reaching 0.86 illustrating the effectiveness of this technology under conditions of climate instability. Similarly, researchers at the University of the Witwatersrand, Johannesburg, used machine learning algorithms and combined Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery to enhance precision in data acquisition – an essential factor for precision agriculture and resource management [16].

Chinese researchers have developed an ensemble AdaBoost-LSTM model that demonstrates strong resilience to extreme droughts and climate variability. A key feature of this model is its ability to generate accurate yield forecasts 1-2 months before the harvest season. The model has shown high performance under both wet and dry seasonal conditions [17].

A study published in *Genes* (MDPI) analyzed yield variability in durum wheat in Italy. It simulated genotype responses to biotic stressors (such as drought and heat) using field trials and predictive modelling approaches [18]. These findings underscore the importance of integrating climatic indices and agricultural technologies for accurate yield forecasting and for improving agronomic and agrotechnological decision-making. In conclusion, a simple and reproducible wheat yield forecasting method has been proposed at the national scale, based on the combination of agrometeorological data and the APSIM model (Agricultural Production Systems Simulator). The model is currently being developed and tested in the United States and Brazil, encompassing various agroclimatic zones. It relies on basic weather inputs (precipitation and temperature) and a limited set of agronomic parameters. Its main advantage lies in its simplicity and low cost, enabling accurate yield predictions even in countries with limited computational capacity [19].

The study period covers the years from 1990 to 2023, aligning with the period of Kazakhstan's independence [20]. Starting from 1990 enables the analysis of trends in the country's post-Soviet agricultural policy, the transformation of economic mechanisms, and the intensification of climate-related trends, while also allowing for the identification of structural patterns and cyclical phases. As previously noted, the geographical scope follows a general-to-specific principle: global analysis provides a comparative context, while the regional level focuses on high-risk farming zones that are critically vulnerable to climatic fluctuations yet strategically important for national food security. The global analysis includes leading wheat-producing countries such as the United States, Canada, Australia, India, and the European Union. The regional analysis is centered on data from the Kostanay Region, which, as noted earlier, is located in a high-risk agricultural zone within the sharply continental climate of Northern Kazakhstan [21].

The methodological strategy follows a stepwise approach: first, the identification of stable relationships between climate change and wheat yield; second, the construction of predictive forecasting models; and finally, spatial visualization and the assessment of economic indicators and consequences resulting from the impact of climate change on the target variable [22, 23, 24].

The main independent variables include:

1. The average seasonal air temperature during the vegetation period May-August;
2. Monthly precipitation levels, with particular emphasis on May, June, August, and September;
3. Indices of precipitation irregularity;
4. Climatic extremes – temperature peaks, drought periods, and heavy rainfall events;
5. Timing of agrotechnological operations, including sowing and harvesting dates.

The dependent variable in this study is wheat yield, measured in centners per hectare (c/ha). In addition, key economic indicators will be included: the cost of wheat production, selling price, profit, and profitability of wheat cultivation and processing.

The selection of climatic and environmental variables is based on their direct physiological impact on wheat growth during key developmental stage: germination, emergence, tillering, stem elongation, heading, flowering, grain filling, and maturation. The irregular distribution of precipitation affects the timely execution of agrotechnical operations. We yield – as the region's primary food crop – serves as the central outcome variable linking climate change to the agricultural sector's economic performance. The inclusion of economic variables enables the evaluation not only of biological losses but also of their translation into production and financial consequences, which is critical for ensuring the efficiency, resilience and profitability of the agricultural economy.

As previously noted, the analytical methodology is based on identifying relationships between climatic and production indicators using correlation analysis methods (Pearson and Spearman) [25], linear and multiple regression, machine learning techniques, and geospatial analysis.

Analytical Methods:

- Calculation analysis was used to identify dependencies between climatic variables (Independent features) and wheat yield (dependent variable);

- Regression analysis was applied to construct predictive models of yields based on climatic and economic factors.

- Geospatial analysis was conducted using GIS technologies for spatial data analysis and visualization of the results.

During the study, threshold values of climatic indicators were calculated – those at which wheat yield exhibited a sharp decline or increase. The impact on the agricultural sector's performance was assessed through the analysis of yield variability and sensitivity to climate change, particularly in the context of increasing climatic instability.

Results. Correlation analysis of data from the Kostanay Region for 1990–2023 revealed a strong dependence of wheat yield on climatic conditions, particularly precipitation during the growing season. Stable yields were associated with a more uniform rainfall distribution in May–July, while moisture deficits in key growth periods resulted in substantial yield reductions. The strongest correlation was observed between wheat yield and July precipitation ($r = 0.89$), highlighting the decisive role of moisture availability during grain formation. These findings confirm the high climatic sensitivity of wheat production in the region (Figures 1 and 2).

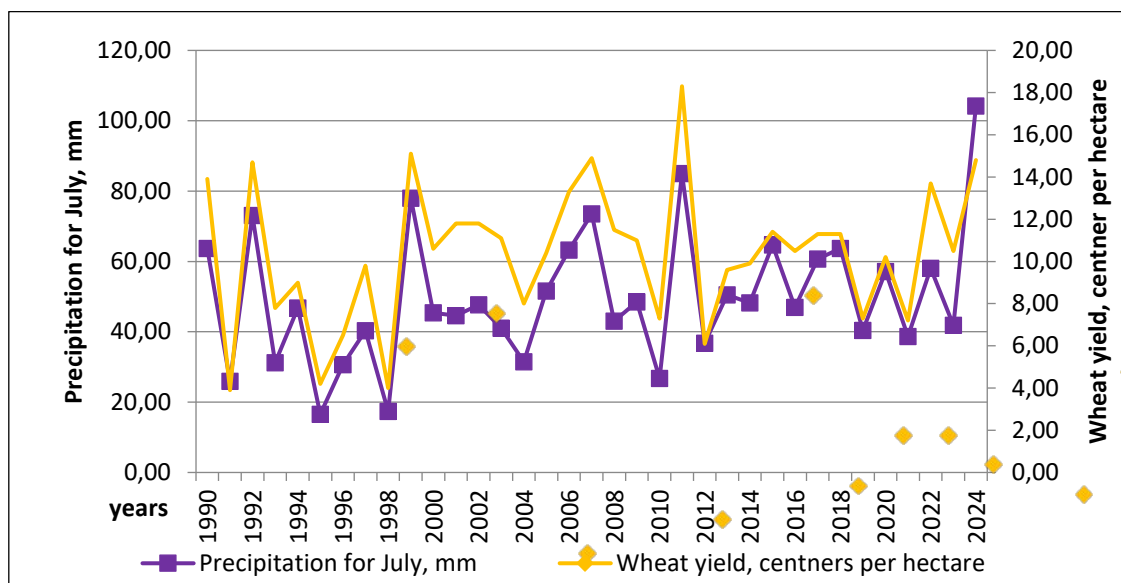


Figure 1 – This is a figure. Schemes follow the same formatting

A similar pattern is demonstrated in Figure 2.

A moderate positive relationship was identified between June precipitation and wheat yield ($r = 0.56$), while May precipitation demonstrated a weaker association ($r = 0.42$). This finding confirms that moisture availability during the critical stages of crop establishment and vegetative development substantially influences wheat productivity.

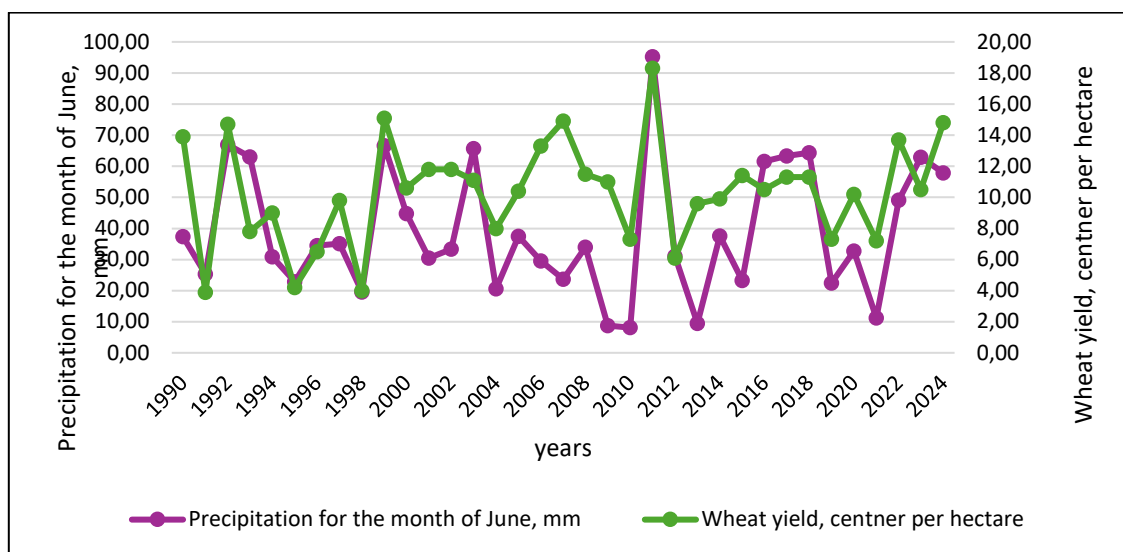


Figure 2 – Graph of the relationship between wheat yield and precipitation levels in June

Thus, as the analysis shows, precipitation during the active growth phase of the vegetation period has a decisive influence on yield formation.

Weak or negative correlations were observed for precipitation in December and March, which, as previously noted, have a cumulative effect and influence wheat yield through the total annual precipitation indicator (Figures 3 and 4).

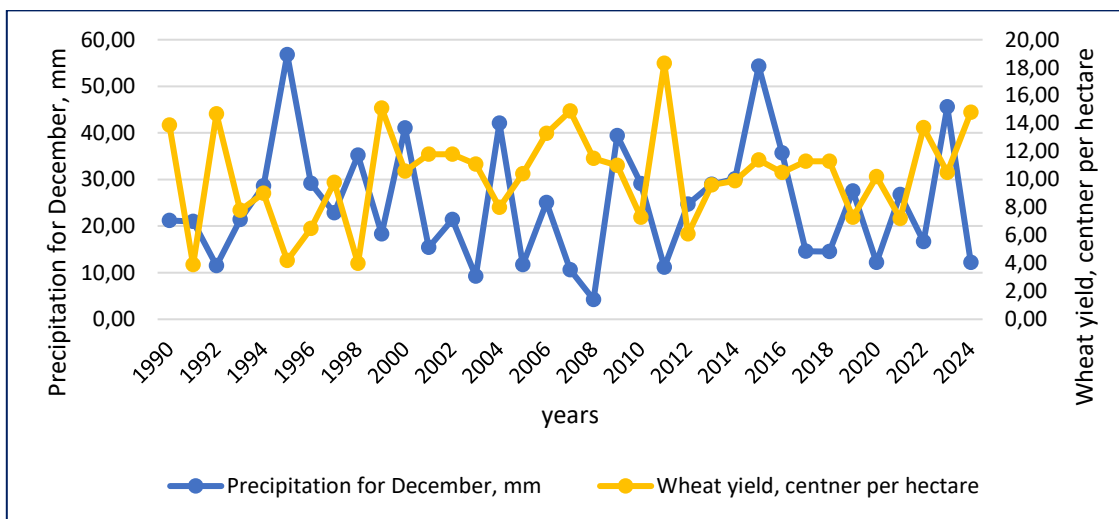


Figure 3 – Graph of the relationship between wheat yield and precipitation levels in December

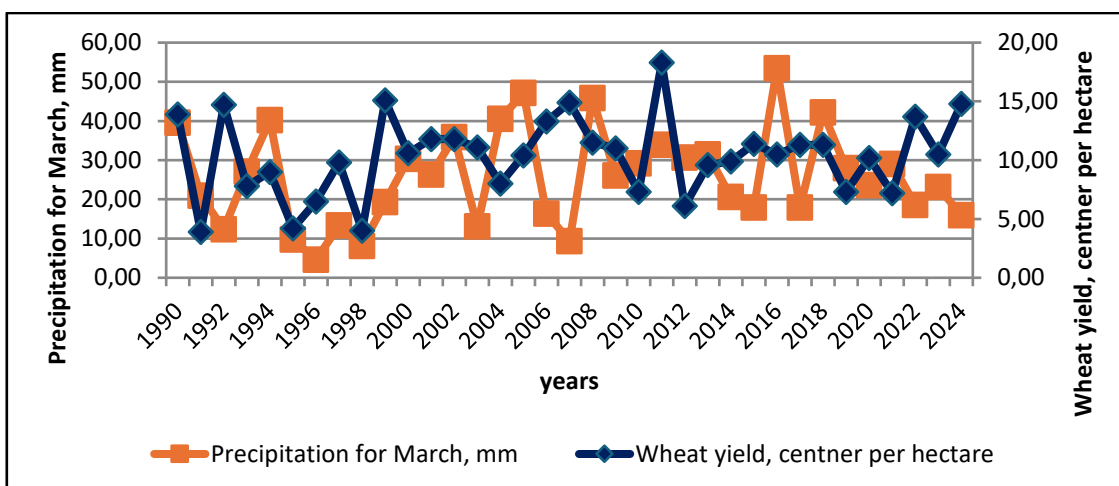


Figure 4 – Graph of the relationship between wheat yield and precipitation levels in March

Continuing the correlation analysis between wheat yield and precipitation, it is important to highlight a strong correlation between yield and total annual precipitation, with a correlation coefficient of $r = +0,72$ (Figures 5).

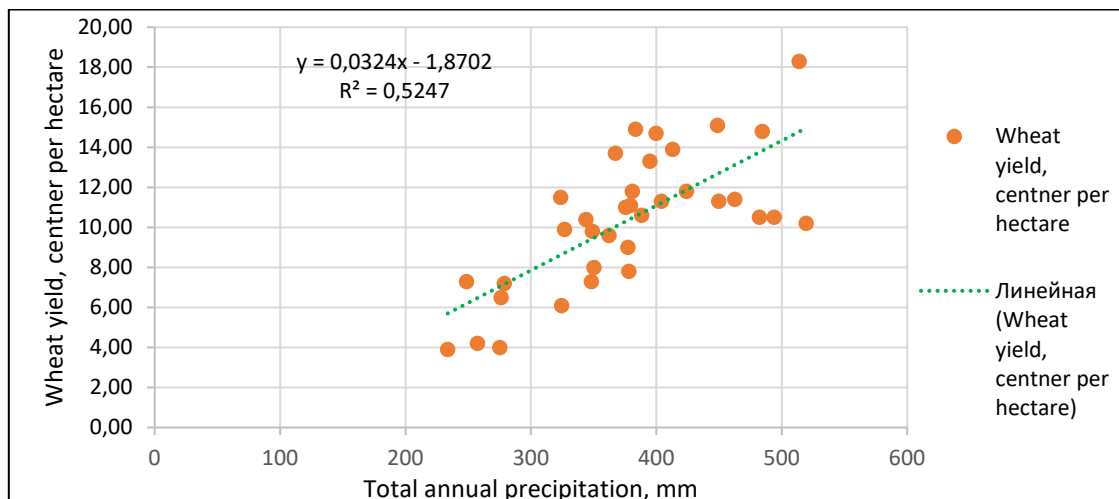


Figure 5 – Correlation between wheat yield and total annual precipitation [25, 26]

This supports the scientific hypothesis that not only specific precipitation during the vegetation period affects yield, but also the accumulated soil moisture -commonly referred to in agricultural technology as soil moisture recharge-formed from autumn, winter, and early spring precipitation plays a significant role in determining wheat and overall cereal crop yields. Stable reserves of soil moisture create favorable conditions for seed germination and early plant growth, even in the absence of sufficient summer rainfall. This pattern is particularly relevant for high-risk farming zones, where the amount of soil moisture available at the beginning of the sowing season is critically important during dry summers. Other influencing factors must also be considered. For instance, when comparing annual data: in 2011, total precipitation was 513,7 mm and the yield was 18,3 centners per hectare; in 1991, total precipitation was 233,6 mm with a yield of 3,9 centners per hectare; and in 2020, despite having the highest annual precipitation during the observation period, the yield was still below average at 10,2 centners per hectare. To improve forecasting accuracy, precipitation unevenness indices were calculated.

Precipitation unevenness indices and the coefficient of variation revealed that in several years particularly after 2010-there has been a noticeable shift in rainfall distribution toward the spring and autumn months. For example, in 2012, 2014, 2021, and 2023, May was one of the wettest months, which coincided with delays in the sowing campaign and reduced yields compared to years in which precipitation was more evenly distributed. In these cases, the PCI (Precipitation Concentration Index) exceeded 20, which is classified as a high concentration of rainfall. The increase in precipitation unevenness over the past 10 years has been reflected in deviations in the timing of the sowing campaign and a decline in yields.

Overall, the correlation matrix constructed to evaluate the strength of the relationship between wheat yield and seasonal temperatures (Table 1).

Table 1 – Correlation matrix assessing the strength of the relationship between wheat yield and seasonal temperatures (Lee Rodgers and Nicewander 1988; Benesty, J., et al. 2009; Pearson 1900)

Indicators	Wheat yield, centners per hectare	Sum of active temperatures °C, Autumn	Sum of active temperatures °C, Winter	Sum of active temperatures °C, Spring	Sum of active temperatures °C, Summer
Wheat yield, centners per hectare	1	-0,26677	0,866741	0,953385	-0,96048
Sum of active temperatures °C, Autumn	-0,26677	1	-0,2154	-0,07911	0,2628
Sum of active temperatures °C, Winter	0,866741	-0,2154	1	0,823169	-0,96738
Sum of active temperatures °C, Spring	0,953385	-0,07911	0,823169	1	-0,89576
Sum of active temperatures °C, Summer	-0,96048	0,2628	-0,96738	-0,89576	1

Showed that the sum of active temperatures in the spring months has the most substantial impact on yield formation (0,49), representing the strongest positive correlation. A warm spring contributes to better germination, tillering, and, overall, a more favorable start to the vegetation period. In the autumn months, the sum of active temperatures does not have a strong influence on yield, however, a moderately positive correlation is observed due to the creation of favorable conditions for harvesting mature crops – higher autumn temperatures increase the likelihood of a timely and efficient harvest. The effect of summer temperatures on yield previously discussed, shows a moderately negative relationship. Logically, the sum of active temperatures in winter has little effect on wheat yield, with a weak, inverse, and statistically insignificant correlation.

These findings are supported by seasonal comparative graphs of wheat yield and air temperature (Figures 6,7,8, and 9).

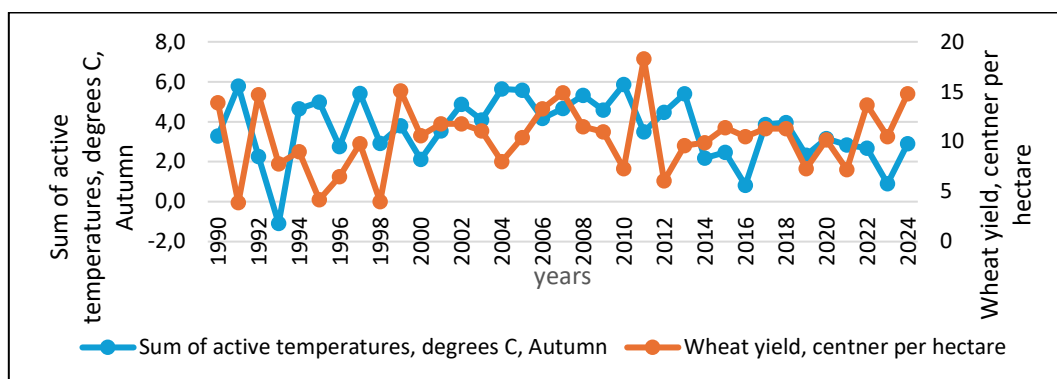


Figure 6 – Graphs illustrating the interaction between wheat yield and the sum of active temperatures during the autumn period

Figure 6 demonstrates clear, albeit weak, positive relationship, particularly when autumn precipitation from the preceding year is considered as a factor in soil moisture accumulation for the upcoming production cycle. Lower autumn temperatures reduce evaporation intensity, facilitating retention of accumulated precipitation, deeper soil infiltration, and the formation of a more substantial soil moisture reserve.

A similar relationship is observed between air temperature in the winter months and wheat yield (Figure 7). Low winter temperatures do not contribute to deep soil freezing or to significant evaporation or the freezing out of soil moisture. The correlation is weak and only slightly discernible. According to agrotechnological data, it is generally accepted that winter temperatures primarily affect the condition of perennial crops or winter wheat, rather than spring wheat. However, long term observations and farmer surveys suggest that low snow cover combined with low winter temperatures often precede a dry spring – summer season.

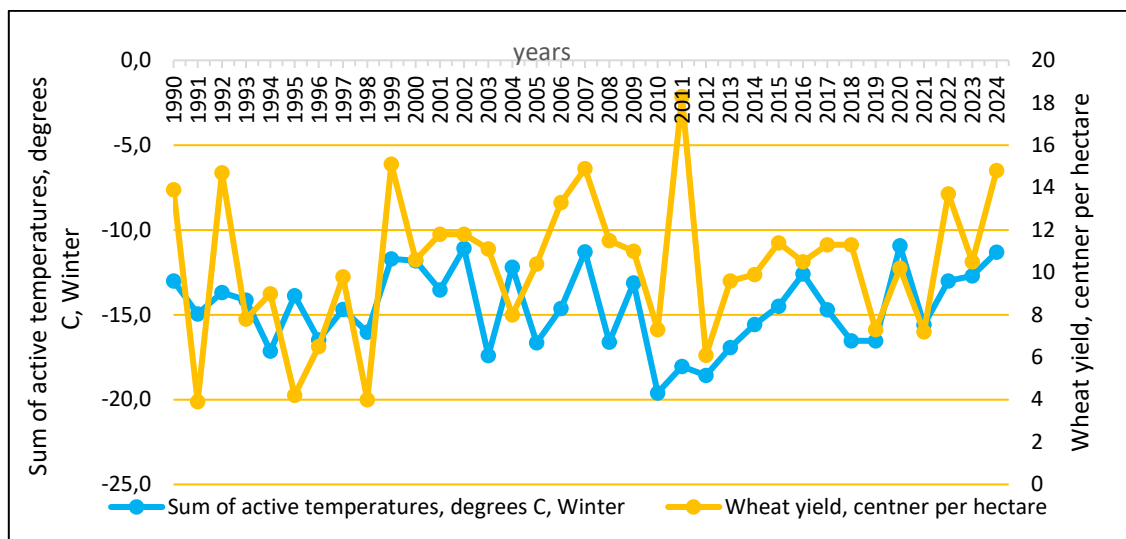


Figure 7 – Graphs illustrating the interaction between wheat yield and the sum of active temperatures during the wither period

The analysis of the graphical relationship between wheat yield and the sum of active temperatures during the spring period, presented in Figure 8, shows a clear positive trend – yield increases with rising spring temperatures.

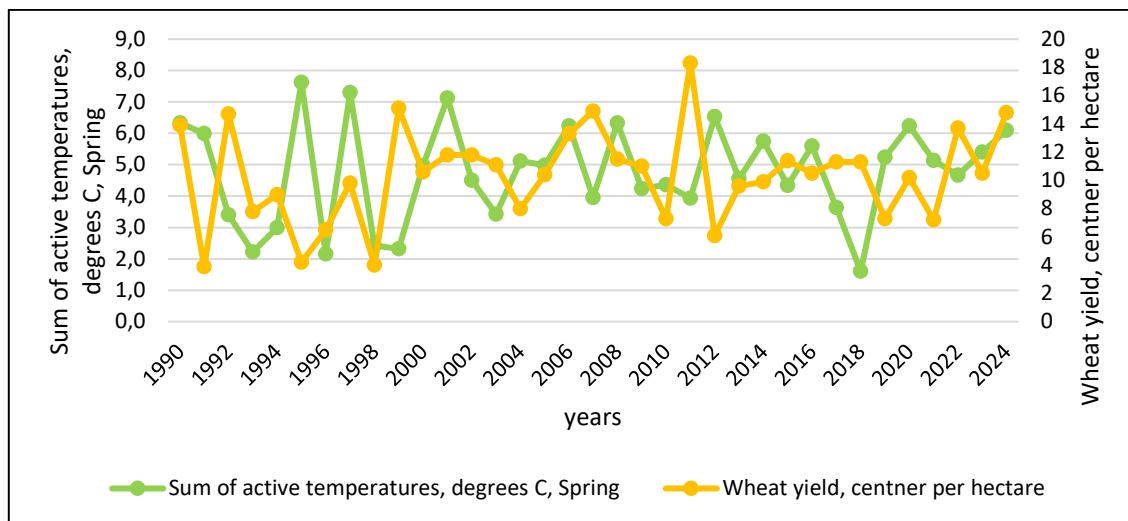


Figure 8 – Graphs illustrating the interaction between wheat yield and the sum of active temperatures during the spring period

This on again confirms the significance of temperature during the germination, tillering, and stem elongated phases. Uniform seedling emergence typically occurs at air temperatures between 12-17 °C, while intensive wheat growth takes place at 20-25 °C.

The graph of the interaction between wheat yield and the sum of active temperatures during the summer period (Figure 9) confirms the results of the correlation analysis: as the temperature threshold increases, yield begins to decline – sometimes reaching critical levels. This is consistent with wheat physiology: overheating (above 30 °C) during the grain-filling phase shortens the vegetation period and reduces grain weight.

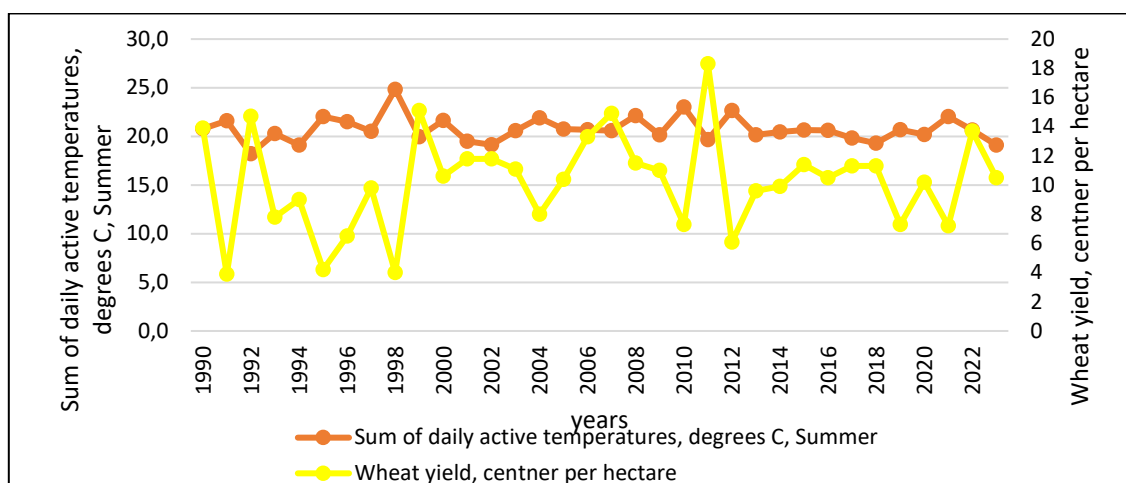


Figure 9 – Graphs illustrating the interaction between wheat yield and the sum of active temperatures during the summer period

For predictive modeling, spring temperatures serve as a key factor, while summer temperatures act as a limiting factor. Thus, temperature is important, but it is neither the primary nor the sole determinant of wheat yield. Yield fluctuations due to air temperature variation account for up to 38%, while the remaining variation is explained by other variables.

Based on long-term observation, four conditional agroclimatic scenarios can be identified for the Kostanay Region (Table 2):

Table 2 – Types of agroclimatic scenarios for the Kostanay Region

Scenarios	Precipitation during the growing season, mm	Air temperature, °C	Wheat yield, centners per hectare
Moderate, moderate temperature	100-140	25-27	12,0-14,0
Low precipitation and moderate temperature	60-90	25-27	10,0-11,0
Drought and heat	<30	> 30	<7,0
Heavy precipitation during the growing season and high temperatures	> 140	28-34	> 15,0

These scenarios form the foundation for a structured predictive model that enables the estimation of the expected yield range under given climatic and environmental conditions. The application of the Random Forest model for yield forecasting demonstrated high accuracy on the test dataset, with $R^2=0.79$, $MAE=1,4$ c/ha. The most significant predictors included July precipitation, average air temperature in June, the PCI index, and the duration of drought periods.

Correlation analysis also revealed a strong positive relationship between wheat yield and economic indicators (Table 3).

Table 3 – Correlation analysis between wheat yield and climatic, environmental, and economic variables based on data from Kostanay Region for the period 1990-2024, highlighting the most significant positive relationship

Indicators	Correlation coefficient	Degree of dependence
Profitability of wheat grain production and cultivation	+0,90	Very strong
Precipitation in July	+0,89	Very strong
Annual total precipitation	+0,72	Very strong
Profit per 1 centner of wheat grain	+0,66	Strong
Precipitation in June	+0,56	Moderately positive
Precipitation in May	+0,42	Moderately positive

A comparative analysis of years characterized by adverse climatic conditions (2012, 2014, and 2021) and relatively favorable production conditions (2013, 2016, and 2019) revealed that a 30–40% decline in wheat yield was associated with a 1.5–2.0-fold reduction in production profitability.

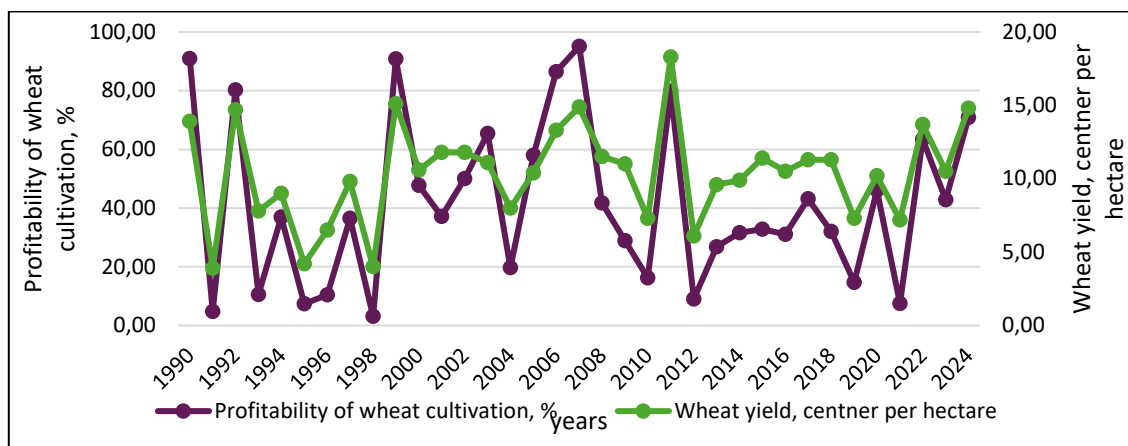


Figure 10 – Graphical relationship between wheat yield and profitability of wheat production

A fundamentally different relationship is observed between yield, production cost, and the selling price of 1 centner of wheat (Table 4).

Table 4 – Correlation analysis between wheat yield and climatic and economic variables based on data from Kostanay Region for the period 1990-2024, showing weak negative correlations

Indicators	Correlation coefficient	Degree of dependence
Production cost of 1 centner of wheat grain	-0,11	Weak negative
Precipitation in December	-0,48	Moderately negative

This analysis will be the focus of subsequent publications (the impact of macroeconomic indicators on the efficiency of wheat production in the Kostanay region will be examined in the next article).

The constructed visualization graphs clearly illustrate key correlation relationships. A near-linear positive dependences is observed: as precipitation increases to 100-120 mm, wheat yield rises to 12-15 centners per hectare (c/ha). and profitability consistently exceeds 50 %. In contrast, under low precipitation conditions (<30 mm), yield levels drop sharply to 6 -7 c/ha.

The analysis demonstrated a very strong positive correlation between wheat yield and production profitability ($r = 0.90$), confirming that economic outcomes in wheat farming are highly sensitive to changes in productivity. This finding underscores the importance of yield stabilization as a prerequisite for improving the economic sustainability and climate resilience of the regional agricultural sector (Figure 11, Table 5).

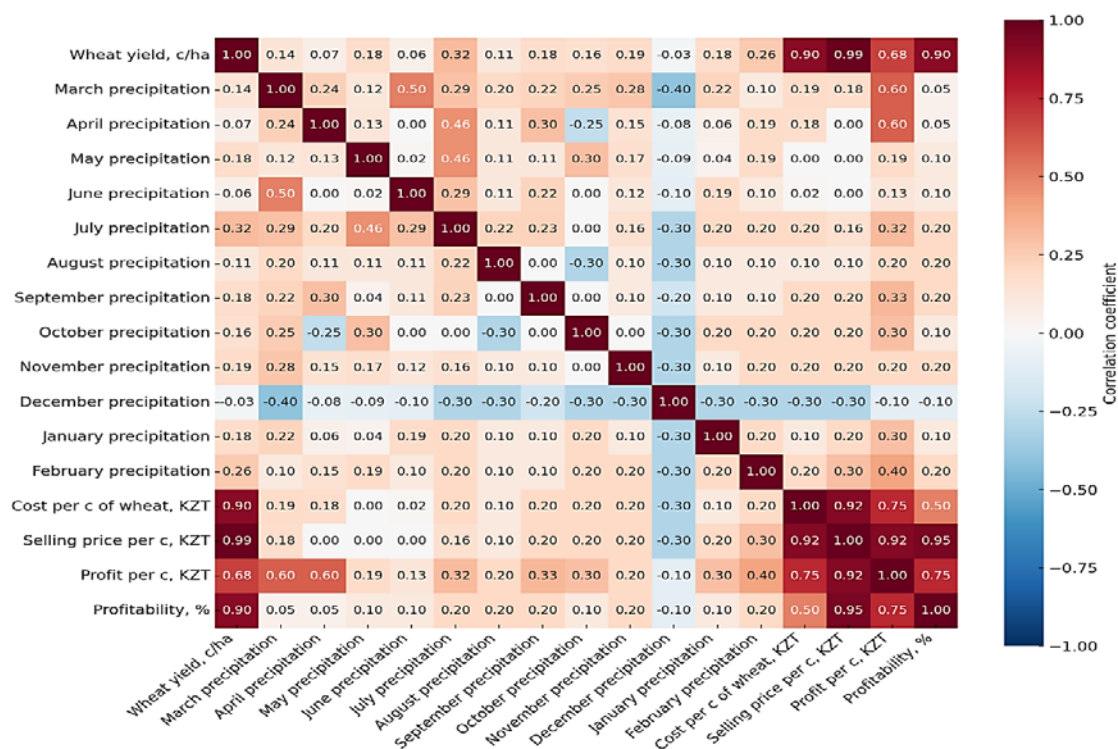


Figure 11 – Heatmap of Interactions Between Climatic Variables, Wheat Productivity, and Economic Efficiency Indicators in the Kostanay Region, 1990–2023 [24, 25, 26]

Figure 11 presents a heatmap of the correlation relationships between climatic and economic indicators for the Kostanay region over the period 1990-2023. A diagonal scale from -1 to +1, is used, where red indicates a positive correlation and blue indicates a negative correlation.

To construct a predictive model for forecasting wheat yield in the Kostanay region, the following key variables were selected (based on correlation values ≥ 0.4). [

Table 5 – Variables included in the predictive model for forecasting wheat yield in the Kostanay region.

Indicators	Correlation coefficient	Degree of dependence
Profitability of wheat production and cultivation, %	+0,90	Very strong
Precipitation in July, mm	+0,89	Very strong
Annual total precipitation	+0,72	Very strong
Profit per 1 centner of wheat grain, tenge	+0,66	Strong
Precipitation in June, mm	+0,56	Moderately positive
Precipitation in May, mm	+0,42	Moderately positive
Precipitation in December, mm	-0,48	Moderately negative

Algorithm for applying the proposed model in the agricultural sector of the economy.

1. Collection of required data:

- long term forecasts of precipitation and temperature;
- data on actual soil moisture recharge prior to the start of the sewing campaign.;
- expected scenario of precipitation distribution;
- selection of agricultural technology (traditional water saving or intensive selection of crop varieties and configuration of machinery and equipment);

2. Calculation of variables: based on climate models and current data the values are calculated as follows, P_{july} , T_{summer} , I_{precip} , C .

3. Yield forecasting: based on the calculated values, the model equation is constructed and solved to obtain a yield forecast with an accuracy of $\pm 1-2$ centners per hectare.

4. Forecasting economic indicators:

- based on the generated yield forecast, agricultural producers can estimate the expected profitability of production;
- formulate an optimal procurement plan for fuels and lubricants, fertilizers, equipment and machinery;
- developed logistics for sowing and harvesting operations;
- assess market related risks;
- mitigate risks associated with farming in a risk prone agricultural zone.

Based on data collected for the period 1990-2024, the predictive model takes the following form:

$$Y = 14,81 + 0,114 \cdot P_{july} - 0,471 \cdot T_{summer} - 2,22 \cdot I_{precip} + 1,75 \cdot C \quad (1)$$

Where:

+0,114 c/ha for each additional mm of precipitation in July;

-0,471 c/ha free extra degree of summer temperature, indicating that overheating reduces yields by suppressing plant growth.;

-2,22 c/ha with an increase in the precipitation irregularity index, emphasizing the importance of stable precipitation.

+1,75 centners/ha when applying more productive in climate-resilient agricultural technology.

Discussion and Conclusion The results of the correlation analysis confirm the central hypothesis of this study: climatic parameters – particularly precipitation and air temperature during the summer period – have a significant impact on wheat yield in the Kostanay Region, which is classified as a high-risk farming zone. The high-risk farming zone of Northern Kazakhstan has been the focus of close scientific attention, primarily due to persistent fluctuations in weather conditions. The scientific and practical significance of these findings increases in the context of global climate change, which has led to more pronounced fluctuations in weather conditions. The study established a strong positive correlation between July precipitation and wheat yield ($r=0,889$), indicating a critical dependence of the vegetation period on adequate moisture availability. It was also found that the amount of accumulated moisture during the autumn-winter period ($r=0,724$) is an important parameter affecting yield, particularly during the germination and early sprouting phases. In addition, precipitation in June showed a moderate positive correlation with yield. As the study revealed, the uneven temporal distribution of precipitation – for example, excessive rainfall during the sowing campaign (which hampers agrotechnical operations scheduled within fixed timeframes) and drought in July during the grain formation phase – ultimately has a negative impact on wheat yield.

Summer air temperature exhibition a negative correlation with wheat yield ($r=-0,61$), which can be attributed to temperature stress on plants. When air temperatures consistently exceed $+30^{\circ}\text{C}$ and precipitation levels are minimal, wheat yield declines to as low as 7 centners per hectare. These findings are consistent with long-term agroclimatic observations and are highly relevant for developing adaptation strategies under climate change conditions aimed at increasing the resilience of agricultural production.

From an economic perspective, a strong positive relationship was identified between wheat yield and production profitability ($r = 0,90$). This indicates that yield function not only as an agrotechnical and agrotechnological indicator, but also as a key economic indicator of the performance efficiency of agricultural enterprises. High yields contribute to lowering the unit cost of production by spreading fixed costs over a larger output volume, while simultaneously increasing profit per unit of output. At the same time, an inverse relationship was found between yield and market price at the intra-seasonal level, reflecting the price formation mechanism under conditions of increased or surplus supply.

However, an analysis of trends over the period from 1990 to 2024 reveals distortions in these relationships. This can be attributed to the influence of macroeconomic factors such as inflation, currency devaluation, shifts in agricultural policy, structural changes in agricultural production, and the broader transition from a centrally planned Soviet economy to a market-based model. Therefore, adequate predictive modeling must account not only for climatic and environment variables, but also for economic indicators – particularly profitability – as a direct measure of production efficiency.

A more in-depth, long-term analysis incorporating macroeconomic indicators will be undertaken and presented in a subsequent scientific publication. In summary, the findings confirm the feasibility and relevance of developing a predictive model for wheat yield (as the region's principal grain crop), with climate parameters serving as key predictors. Such a model may be useful both for long-term planning in the agricultural sector and for adapting production processes to climate-related risks. Moreover, the model demonstrates high predictive capacity, enabling a shift from retrospective statistical analysis to the strategic decision-making level. This is particularly important in the context of climate change, volatile market prices, and fluctuating production costs in high-risk farming zones.

Funding: This research is funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of the following project: AP25794477 Development and scientific justification of adaptive strategies using predictive models to increase agricultural resilience under climate change conditions. Priority: Sustainable development of the agro-industrial complex, agreement No. 56ЖФ-25-27, dated 27 February 2025, within the framework of grant funding for research by young scientists under the "Zhas Galym" project for 2025-2027.

REFERENCES:

1. Lobell D.B, and Field C.B. **Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming.** *Environmental Research*, 2007, letters 2 (1), art. 014002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/1/014002>.
2. Wheeler T., Von Braun J. **Climate change impacts on global food security.** *Science*, 2013, 341 (6145), art. 508–13. <https://doi.org/10.1126/science.1239402>.
3. Zampieri M., Ceglar A., Dentener F., Toretti A. **Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales.** *Environmental Research*, 2017, letters 12 (6), art. 064008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa723b>.
4. Tack J., Barkley A., and Nalley L.L. **Effect of warming temperatures on US wheat yields.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112 (22), art. 6931–36. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415181112>.
5. Tubiello F.N., Jean-François S., Mark Howden S. **Crop and pasture response to climate change.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007, 104 (50), art. 19686–90. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701728104>.
6. Zhumagulov I., Amantaev B., Mukhanov N., Kulzhabaev E. **Influence of precipitation on the yield of spring wheat and barley in the dry steppe zone of Northern Kazakhstan.** *Izdenister Natigeler*, 2021. no. 3 (91), pp. 28–36. <https://doi.org/10.37884/3-2021/04>.
7. Teleubay Zh., Yermekov F., Rustembayev A., et al. **Comparison of climate change effects on wheat production under different representative concentration pathway scenarios in North Kazakhstan.** *Sustainability*, 2023, 16 (1), art. 293. <https://doi.org/10.3390/su16010293>.
8. Suleimenov M., Akshalov K. **Eliminating summer fallow on black soils of Northern Kazakhstan.** *Climate Change and Terrestrial Carbon Sequestration in Central Asia*, 2007, 0 ed. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203932698-30>.
9. Wall P., Yushenko N., Karabayev M., Morgounov A., Akramhanov A. **Conservation agriculture in the steppes of Northern Kazakhstan: The potential for adoption and carbon sequestration.** *Climate Change and Terrestrial Carbon Sequestration in Central Asia*, 2007, 0 ed. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203932698-32>.
10. Soothar R.K., Zhang W., Zhang Y., et al. **Evaluating the performance of SALTMED model under alternate irrigation using saline and fresh water strategies to winter wheat in the North China Plain.** *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26 (33), pp. 34499–509. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06540-w>.
11. Salinas C., Osei E., Yu M., Guney S., Lovell A., Kan E. **Climate change effects on Texas dryland winter wheat yields.** *Agriculture*, 2024, 14 (2), art. 232. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020232>.

12. Sun Y., Chen Ch., Shi X., Sun X., Fan H. Machine learning based agricultural crop yield estimation in Yingcheng district, Hubei province. *11th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)*, 2023, July 25, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/agro-geoinformatics59224.2023.10233541>.
13. Sahin D., Nur A. Investigation of the wheat production dynamics under climate change via machine learning models. *Sustainability*, 2025, 17 (5), art. 1832. <https://doi.org/10.3390/su17051832>.
14. Zhang L., Li C., Wu X., et al. BO-CNN-BiLSTM deep learning model integrating multisource remote sensing data for improving winter wheat yield estimation. *Frontiers in Plant Science*, 2024, vol. 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1500499>.
15. Raza A., Adnan Shahid M., Zaman M., et al. Improving wheat yield prediction with multi-source remote sensing data and machine learning in arid regions. *Remote Sensing*, 2025, 17 (5), art. 774. <https://doi.org/10.3390/rs17050774>.
16. Bogdanovski O.P., Svenningsson C., Månsson S., Oxenstierna A., Sopasakis A. Yield prediction for winter wheat with machine learning models using Sentinel-1, topography, and weather data. *Agriculture*, 2023, 13 (4), art. 813. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040813>.
17. Zhao Y., He J., Yao X., et al. Wheat yield robust prediction in the huang-huai-hai plain by coupling multi-source data with ensemble model under different irrigation and extreme weather events. *Remote Sensing*, 2024, 16 (7), art. 1259. <https://doi.org/10.3390/rs16071259>.
18. Dettori M., Cesaraccio C., Duce P., Mereu V. Performance prediction of durum wheat genotypes in response to drought and heat in climate change conditions. *Genes*, 2022, 13 (3), art. 488. <https://doi.org/10.3390/genes13030488>.
19. Nôia J., De S. R., Olivier L., et al. A simple procedure for a national wheat yield forecast. *European Journal of Agronomy*, 2023, 148, art. 126868. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126868>.
20. Kazakh Grain Union. n.d.-b. Grain and Oilseeds Market Analytics. Available at: <https://www.grainunion.kz/ru/info-system/34>. (accessed 12 December 2025).
21. Ismuratova G.S., Akhmetkali T.A., Tobylov K.T. Agrarlyk zhujelerdin transformaciyasy zhagdajynda auyl sharuashylygynyn klimattyn ozgeruine bejimdely strategiyalaryn e'konomikalyk negizdeu [Economic assessment of agricultural adaptation strategies to climate change in the context of agrarian system transformation]. *3i: Intellect, Idea, Innovation*, 2025, no. 4, part 31, pp. 237–247. <https://doi.org/10.52269/NDTG2541237>. (In Kazakh)
22. apk-news.kz. n.d.-a. Abnormal Excess Moisture Is Predicted in the Grain Belt of Kazakhstan during the Harvesting Period. Available at: <https://apk-news.kz/news/item-5557>. (accessed 25 December 2025).
23. apk-news.kz. n.d.-b. Grain Price Analysis in Kazakhstan June 30. Available at: <https://apk-news.kz/news/item-5548>. (accessed 28 December 2025).
24. Kazakh Grain Union. n.d.-d. Review of the Price Situation on the Grain Market of Kazakhstan. Available at: <https://apk-news.kz/news/item-5522>. (accessed 30 December 2025).
25. Pearson K.X. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 1900, 50 (302), pp. 157–75. <https://doi.org/10.1080/14786440009463897>.
26. Rodgers J.L., Nicewander W.A. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician*, 1988, 42 (1), pp. 59–66. <https://doi.org/10.1080/00031305.1988.10475524>.
27. Sokal R.R. *Biometry (Linear Regression)*. With Internet Archive., W.H. Freeman, 1995. Available at: http://archive.org/details/biometryprincip100soka_0 (accessed 30 December 2025).
28. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. The state of food security and nutrition in the world 2024. Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. FAO. doi.org FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World, 2024. Available at: <https://openknowledge.fao.org/items/ebe19244-9611-443c-a2a6-25cec697b361> (accessed 30 December 2025).
29. NASA POWER Project. Meteorological and Solar Data, 2025. Available at: <https://power.larc.nasa.gov>. (accessed 30 December 2025).
30. Bjuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskemu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. Available at: <https://stat.gov.kz/en/> (accessed 30 December 2025). (In Russian)
31. Kazhydromet.kz. Kazhydromet. Available at: <https://www.kazhydromet.kz/en/> (accessed 30 December 2025).
32. Kazakh Grain Union. Official internet resource of the ALE Grain Union of Kazakhstan. Available at: <https://www.grainunion.kz/en/> (accessed 30 December 2025).
33. Akhmetkali T.A., Ismuratova G.S. An analysis and economic assessment of climate change impacts on grain production in the Kostanay Region. *3i: Intellect, Idea, Innovation*, 2025, no. 2, part 1, pp. 245–255. <https://doi.org/10.52269/RWEP2521245>. (In Kazakh)

Information about the authors:

Ismuratova Galiya Suindikovna* – Doctor of Economic Sciences, Professor, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Academician of the International Academy of Agricultural Education, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 A. Baitursynov Str., tel.: +7 7053319171, e-mail: ismyratova@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-1834-1968>.

Akhmetkali Tansulu Amangeldikyzy – PhD student, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 A. Baitursynov Str., e-mail: ahmetkali.ta@ksu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9494-7411>.

Naurzbayeva Kamila Bolatbekovna – Head of the New Projects Launch Team, Allur plant, SaryarkaAvtoProm LLP, Republic of Kazakhstan, Kostanay, 41 Promyshlennaya Str., e-mail: kamila08saveme80d@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9646-9573>.

Naurzbaev Bolatbek Temirbekovich – Candidate of Economic Sciences, Agronomist, Head of a peasant farm, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, e-mail: naurzbaev.bolatbek@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0003-4492-243X>.

Исмуратова Ғалия Суиндикқызы* – экономика ғылымдарының докторы; Бухгалтерлік есеп және басқару кафедрасының профессоры; Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті; Халықаралық ауылшаруашылық білім беру академиясының академигі. 110000 А.Байтұрсынов көш., 47, Қостанай қ., Қазақстан; e-mail: ismyratova.gs@ksu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1834-1968>.

Ахметқали Таңсұлу Амангелдіқызы – Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, 110000 А.Байтұрсынов көш., 47, Қостанай қ., Қазақстан, e-mail: ahmetkali.ta@ksu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9494-7411>.

Наурызбаева Камилла Болатбекқызы – «СарыаркаАвтоПром» ЖШС «Аллюр» зауытының жаңа жобаларды іске қосу тобының жетекшісі, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Наурызбаев Болатбек Темірбекұлы – экономика ғылымдарының кандидаты, агроном, шаруа қожалығының басшысы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Исмуратова Галия Суиндиковна* – доктор экономических наук, профессор, Костанайский региональный университет им. А.Байтұрсынұлы, академик Международной академии аграрного образования, 110000 ул. Байтұрсынова 47, г. Костанай, Казахстан, e-mail: ismyratova@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-1834-1968>.

Ахметқали Таңсұлу Амангелдіқызы – докторант Ph.D; Костанайский региональный университет им. А.Байтұрсынұлы, 110000 ул. Байтұрсынова, 47, г. Костанай, Казахстан, e-mail: ahmetkali.ta@ksu.edu.kz, <https://orcid.org/0000-0001-9494-7411>.

Наурызбаева Камилла Болатбековна – руководитель группы запуска новых проектов, завод «Аллюр», ТОО «СарыаркаАвтоПром», Республика Казахстан, г. Костанай, Промышленная, 41, e-mail: kamila08saveme80d@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-9646-9573>.

Наурызбаев Болатбек Темірбекович – кандидат экономических наук, учёный агроном, глава крестьянского хозяйства, Республика Казахстан, Костанай, e-mail: naurzbaev.bolatbek@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0003-4492-243X>.

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ

ВЕТЕРИНАРИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ – ВЕТЕРИНАРНЫЕ НАУКИ

АЛЕНОВА М.Е. МУСТАФИНА Р.Х.* БАБОШИНА Л.Д. БАЛДЖИ Ю.А.	ПРИМЕНЕНИЕ ФИТОБИОТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА В ФОРМЕ «DIP» ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ МАСТИТА ЖИВОТНЫХ	5
БАЛАБАЕВ Б.К.* ЕРГАЗИНА А.М. КУЛЬПИИСОВА А.А. ДЮСЕБАЕВА Д.А.	ҚАЗАҚ АҚБАС ТҰҚЫМЫ ТӨЛДЕРІНДЕ ҚАЛҚАНША БЕЗІ ГОРМОНДАРЫНЫҢ, АМИНОТРАНСФЕРАЗЛАР БЕЛСЕНДІЛІГІ-НІҢ ЖӘНЕ ӨНІМДІЛІК ҚАСИЕТТЕРІНІҢ ӨЗАРА БАЙЛАНЫСЫНА ЖЫНЫСТЫҢ ӨСЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	14
ЕЛЕУСИЗОВА А.Т.* КАУМЕНОВ Н.С. БАТЫРБЕКОВ А.Н. ДЮСЕМБЕКОВ С.К.	МОНИТОРИНГ ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО ОБЪЕКТА, СОВМЕСТНО С ПРОТОКОЛОМ ANIMAL WELFARE QUALITY	21
ZHAKENOVA A.Ye. ABDRAKHMANOV S.K. SHYNYBAYEV K.M. BIZHANOV A.B.*	EPIZOOTIC SITUATION OF BLUETONGUE IN SHEEP IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN BASED ON RESEARCH RESULTS IN 2021-2025	32
ЖОЛДАСБЕКОВ А.К. АБУГАЛИЕВ С.К. СМАГУЛОВ Д.Б. ЖУБАНТАЕВ И.Н.*	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВА МОЛОЧНОГО СТАДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ И СЕКСИРОВАННОГО СЕМЕНИ	39
НУРПЕИСОВА Р.К.* ТУРГУМБЕКОВ А.А. ИМАНБАЕВ А.А. УСЕНБЕКОВ Е.С.	О РЕЗУЛЬТАТАХ ГЕНОТИПИРОВАНИЯ КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ ПО ЛОКУСУ ГЕНА TLR4/ALUI И ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ АЛЛЕЛЕЙ ГЕНА TLR4 НА ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНУЮ ФУНКЦИЮ	47
ОСПАНОВА М.С. СЫМАН К.* ЯХИН Р.Ф. ЗАКИРОВА Ф.Б.	ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНАЯ ОЦЕНКА ВЕРБЛЮЖЬЕГО МОЛОКА И ШУБАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕГИОНА И СЕЗОНА	56
ШАМГУНОВ Н.А.* АУБАКИРОВ М.Ж. ЕРЕНКО Е.Н. ШАРИПОВА А.А.	ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНДАҒЫ МАЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҚОРА-ЖАЙЛАРЫНДА ЗООФИЛЬДІ ШЫБЫНДАРҒА ҚАРСЫ ДЕЗИНСЕКЦИЯЛЫҚ ІС-ШАРАЛАРДЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІГІ	67
ЯНИЧ Т.В.* ПАПУША Н.В. ХАСАНОВА М.А. ДЕРХО М.А.	ТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОГЕСТЕРОНА В СХЕМАХ ЛЕЧЕНИЯ ОВАРИАЛЬНЫХ ДИСФУНКЦИЙ У КОРОВ	74

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ – СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

АЙШУҚ Е.Ж.* САРСЕКОВА Д.Н. АКАНОВА А.Б. БЕКИШОВ К.К.	COTONEASTER MELANOCARPUS ӨСІМДІГІН IN VITRO ЖАҒДАЙЫНДА МИКРОКЛОНАЛДЫ КӨБЕЙТУ КЕЗІНДЕ АНАЛЫҚ ӨСІМДІКТЕРІНІҢ ФИТОСАНИТАРЛЫҚ БАҒАЛАНУЫ	84
ANSABAYEVA A.S.* MAKHAMBETOV M.Zh. BAIDALIN M.Ye. MOSKVICHEVA Ye.N.	ENHANCING THE SUSTAINABILITY OF AGROECOSYSTEMS UNDER CLIMATE STRESS THROUGH THE INTEGRATION OF LEGUME CROPS, BIOLOGICAL PREPARATIONS, AND LEGUME-CEREAL CROP ROTATIONS IN NORTHERN KAZAKHSTAN	91
БОСТУБАЕВА М.Б.* ЖАНАБЕРГЕНОВ А.О. МАКЕНОВА М.М.	БИОГИДРОГЕЛЬДІҢ ЖАЗДЫҚ АРПА (HORDEUM VULGARE L.) ТҰҚЫМДАРЫНЫҢ ӨНГІШТІГІНЕ ӨСЕРІН БАҒАЛАУ	98

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ

БАЙТЕЛЕНОВА А. А. БАЙДАЛИН М. Е. СТЫБАЕВ Г. Ж.* DIRI KELVIN HARRISON	СМЕШАННЫЕ ПОСЕВЫ ОДНОЛЕТНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ЗАГОТОВКИ СЕНАЖА В УСЛОВИЯХ СОПОЧНО-РАВНИННОЙ ЗОНЫ АҚМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ	107
ГУБАШЕВ Н.М.* КУЛБАЕВ Р.М. ШУКУРОВ М.Ж. АМАНГАЛИЕВ Т.Г.	ГЕНЕАЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ПРОДУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИЙ КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОДЫ В КХ «СҰЛТАН»	117
КУРМАНБАЕВА А.С. БАЯЗИТОВА З.Е.* САФРОНОВА Н.М. ЖАПАРОВА С.Б.	АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ФИЛЬТРАТОВ ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ИХ РОЛИ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ АГРОЦЕНОЗОВ	125
КУЛЬЖАБАЕВ Е.М.* КУРБАНБАЕВ А.И. КУЛЬЖАНОВА С.М. МҰРАТҰЛЫ ОРАЗХАН	АҚМОЛА ОБЛЫСЫ ЖАҒДАЙЫНДА БИОПРЕПАРАТТАРДЫҢ ЖАЗДЫҚ БИДАЙДЫҢ ӨНІМДІЛІГІ МЕН САПАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӨСЕРІ	137
МУХАНОВ Н.К.* СЕРЕКПАЕВ Н.А. НОГАЕВ А.А. ДЖАКУПОВ Н.М.	ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ КАК ЭЛЕМЕНТ ВЛАГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВЫХ СТЕПЕЙ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	145
НУГМАНОВ А.Б. ЫСҚАҚ А. БЕКТҰРҒАНОВА А.Қ.* ИРЖАНОВ Ж.	ТОПЫРАҚ СЫНАМАЛАРЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ ЖАЛПЫ МӨЛШЕРІН РЕНТГЕНФЛУОРЕСЦЕНТТІК СПЕКТРОМЕТРИЯ ЖӘНЕ ИНДУКТИВТІ БАЙЛАНЫСҚАН ПЛАЗМАЛЫ ОПТИКАЛЫҚ-ЭМИССИЯЛЫҚ СПЕКТРОМЕТРИЯ ӨДІСТЕРІМЕН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ	158
НУГМАНОВ А.Б. ЫСҚАҚ А. МУКАНОВ Т.М.* ДӘУЛЕТКЕЛДІ Г.Н.	ДЕНИСОВ АУДАНЫНЫҢ (ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫ) АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ТОПЫРАҚТАРЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ ЖЫЛЖЫМАЛЫ ТҮРЛЕРІНІҢ МӨЛШЕРІН ІСР-OES ӨДІСІМЕН БАҒАЛАУ	167
ОҢЛАСЫНОВ Ж.Ө.* АБСАМЕТОВ М.К. ШАГАРОВА Л.В. МУРАТОВА М.М.	ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ XGBoost, SHAP И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ БОКЕЙОРДИНСКОГО РАЙОНА ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ	177
РАХИМБАЕВ Б.С. ЖУМАЛЫНОВ К.А.* КАЗБЕКОВА К.А. ЛЯНГА П.Ю.	РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И УРОВНИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ	188
RAKHIMBAYEV B.S. NAURZBAYEV Zh.K. NURPEISSOV A.A.* NURSEITOVA A.M.	ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF THE AGRICULTURAL FIELDS IN THE KAMYSTY DISTRICT USING THE ICP-OES METHOD	199
СМАГУЛОВ Д.Б.* АБУГАЛИЕВ С.К. ЖУБАНТАЕВ И.Н.	ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ НЕЙТРАЛЬНО-ДЕТЕРГЕНТНОЙ КЛЕТЧАТКИ В РАЦИОНАХ СУХОСТОЙНЫХ КОРОВ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОФИЛАКТИКУ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ	210
ТАЖИЕВ С.Р.* МУРТАЗИН Е.Ж. РАХИМОВА В.С. АЛИМГАЗИНА А.К.	ОБВОДНЕНИЕ ПАСТБИЩ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ОТГОННОГО ЖИВОТНОВОДСТВА В ОБЛАСТИ ЖЕТЫСУ	220

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ

ЧЕБОТЬКО Н.К.* КРЕКОВА Я.А. РАУШАН Ө.Б.	SPIRAEA L. В КОЛЛЕКЦИЯХ КАЗАХСКОГО НИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ ИМ. А.Н. БУКЕЙХАНА	230
ШЫНБЕРГЕН Ө.С.* НУГМАНОВ А.Б. ЖУМАЛЫНОВ К.А. КАЗБЕКОВА К.А.	ОСОБЕННОСТИ БИОАККУМУЛЯЦИИ И ТРАНСЛОКАЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА–РАСТЕНИЕ»: ФАКТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ	239

ТАРИХ ҒЫЛЫМДАРЫ – ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

PAHARELY A.*	MIDDLE CLASS VALUES, PSYCHOANALYSIS, RELIGION, AND THE DEBATES ON BELARUSIAN NATIONAL ESSENCE IN INTERWAR POLAND	249
ШАЛГИМБЕКОВ А.Б.* ГУЛЯЕВ И.И.	ЛИНЕЙНАЯ ТОРГОВЛЯ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XVIII ВЕКА КАК МЕХАНИЗМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ В РОССИЙСКУЮ ИМПЕРИЮ	256

ФИЛОЛОГИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ – ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

SERGIENKO N.A.* SITNIKOVA A.Yu.	NATIONAL-CULTURAL CODE IN THE LINGUISTIC PARADIGM	263
СИРИВЛЯ М.А.*	ЕСЕНИН С.А. И ПОЭТИЧЕСКАЯ ТРАДИЦИЯ XX ВЕКА: ЛИНГВОСТИЛИСТИЧЕСКИЙ И КУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	269

ЭКОНОМИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР – ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ӨЛІБАЙ Е.А.* ӨЛІБАЙ Л.М.	ШЕКАРАЛЫҚ ӨҢІРДІҢ ӨЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ДАМУЫ МЕН АЗЫҚ-ТҮЛІК ҚАУІПСІЗДІГІ: СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ КЕШЕНДІ ТАЛДАУЫ	277
АСОЕВ Б.Х. НАУРЗБАЕВА К.Б.* АБДУЛЛОЗОДА Х.А. АХМЕДЗОДА З.П.	СТАТИСТИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН	290
ISMURATOVA G.S.* AKHMETKALI T.A. NAURZBAYEVA K.B. NAURZBAYEV B.T.	AGROCLIMATIC DETERMINANTS OF WHEAT YIELD AND PROFITABILITY	303

**Правила для авторов многопрофильного научного журнала
«3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация»**

Редакция журнала просит авторов ознакомиться с правилами (редакционной политикой журнала, содержащей общую информацию о журнале, процедуру рассмотрения статей, рецензирования, руководство для авторов, публикационную этику) и придерживаться их при подготовке работ, направляемых в журнал. Отклонение от установленных правил задерживает публикацию статьи.

Отправление статьи в редакцию означает согласие автора (авторов) на право Издателя, Костанайского регионального университета имени Ахмет Байтұрсынұлы, издания статьи в журнале и переиздания ее на любом иностранном языке.

Статьи и другие материалы, направляемые для публикации в журнале «3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация», через личный кабинет на сайте, должны соответствовать условиям и быть оформлены в соответствии с требованиями, отраженными в данном руководстве.

Word-файлы (1997-2003) работы подаются в редакцию (через систему подачи статей в режиме онлайн). Авторы должны представить 3 документа: сопроводительное письмо и две версии рукописи. Одна из них не должна содержать информацию об авторах (ФИО, место работы, сведения об авторах), названием файла служит тема статьи, так как анонимизированный текст необходим для двойного слепого рецензирования (**Например: 1. Иванов_3i_ветеринарные; 2. Результаты клинических, гематологических и иммунологических коров в разные периоды лактации**). Автор (ы) также должен предоставить **3. Сопроводительное письмо** (шаблон сопроводительного письма также прилагается в системе).

Редакционная коллегия **осуществляет** проверку статей на % оригинальности по лицензированной системе проверки на антиплагиат **Strikeplagiarism.com** и отклонения статей, не соответствующих требованиям, в том числе оформлению, **без объяснения причин**.

Условия для размещения статьи в журнале:

- **аннотация и название статьи на трех языках** (казахский, русский и английский), **первая – на языке статьи**, в аннотации должны быть отражены следующие моменты: актуальность, цель, задачи, суть научного исследования, описание научной и практической значимости работы, краткое описание методов и методологии исследования, основные результаты и выводы исследовательской работы, ценность проведенного исследования (внесенный вклад данной работы в соответствующую область знаний), а так же практическое значение итогов работы. Следует избегать предложений, идентичных предложениям из текста статьи, символов, ссылок на литературу, рисунков и таблиц, веб-ссылок и электронных писем;

- в содержании статьи должны быть **обзоры научных трудов отечественных и зарубежных исследователей** по аналогичной проблеме. Качество и количество источников, на которые ссылаются, указывают на актуальность статьи. Поэтому авторам рекомендуется придерживаться следующих инструкций:

- все ссылки должны содержать библиографические данные на английском языке; **не менее 20% ссылок** должны быть проиндексированы в Scopus и (или) Web of Science за последние 10 лет;

- допустимое количество публикаций авторов и соавторов статьи в списке литературы не должно превышать **10% от общего** числа;

- в списке литературы должно быть **не менее 30% источников** не старше **5 лет**;

- **основной текст статьи должен содержать:** введение (в котором отражены актуальность, постановка цели, определены задачи, показана степень изученности), материалы и методы исследования, результаты, обсуждение и заключение/выводы;

- объем статьи **от 6 до 12 стр.**;

- **оплата производится ТОЛЬКО ПОСЛЕ ПРИНЯТИЯ статьи для публикации**;

- электронная версия сканированных копий квитанций принимаются **только** по электронному адресу: **3i_kru@mail.ru**.

Соавторство предполагает **не более 4 авторов**.

Все поступившие **статьи отправляются в очередь на рассмотрение (в среднем 6-9 месяцев)**.

Порядок расположения структурных элементов статьи:

- статья должна содержать **УДК, МРНТИ <https://grnti.ru/>**- первая строка, слева;

- **каждая статья, принятая к публикации, автоматически получает DOI**;

- заголовок статьи (**прописными буквами, полужирным шрифтом**), ФИО автора (фамилия полностью и инициалы) (**не более 4-х авторов**), его ученая степень, звание, место работы (должность, название предприятия, организации, учреждения, город, страна) и набранная **курсивом аннотация и ключевые слова (5-7 слов) располагаются перед текстом статьи на 3-х языках**.

Если в названии организации **явно не указан город**, то через запятую после названия организации указывается город и страна.

Если статья подготовлена несколькими авторами, их данные указываются **в порядке значимости вклада** каждого автора в статью.

Звездочкой обозначается автор-корреспондент (*), который **регистрируется на сайте** и прикрепляет все 3 документа.

Объем аннотации – 150-250 слов (не должен быть меньше или превышать на любом языке), (курсивом, обычным шрифтом);

- таблицы, рисунки необходимо располагать **после упоминания**. С каждой иллюстрацией должна следовать **надпись**. Рисунки должны быть четкими, чистыми, не сканированными. Рисунки, графики должны быть представлены в одном из стандартных форматов: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Точечные рисунки необходимо выполнять с разрешением 600 dpi. На рисунках должны быть ясно переданы все детали;

- в статье нумеруются лишь те формулы, на которые по тексту есть ссылки;

- все аббревиатуры и сокращения, за исключением заведомо общеизвестных, должны быть расшифрованы при первом употреблении в тексте.

- текст в формате **Microsoft Word 97-2003**. Формат листа А4 (297х 210 мм). Все поля – 2 см. Страницы в электронной версии не нумеруются. Шрифт: **Arial**. Размер символа – **10 pt**. Текст должен быть отформатирован по ширине без переносов, отступ в начале абзаца – **1 см**. Межстрочный интервал – **одинарный**. Заголовок статьи форматируется по центру. **В тексте статьи не должна использоваться автоматическая нумерация**;

- список использованных при подготовке статьи информационных источников располагается в конце статьи. Перечисление источников дается строго в порядке ссылок на них в статье. Номер ссылки в тексте статьи оформляется в квадратных скобках, **например** – **[1, с.13]**. Список литературы оформляется в соответствии с **ГОСТ 7.1 – 2003** «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления»;

- литература на языке статьи (кроме англ.) и **в латинской транслитерации**;

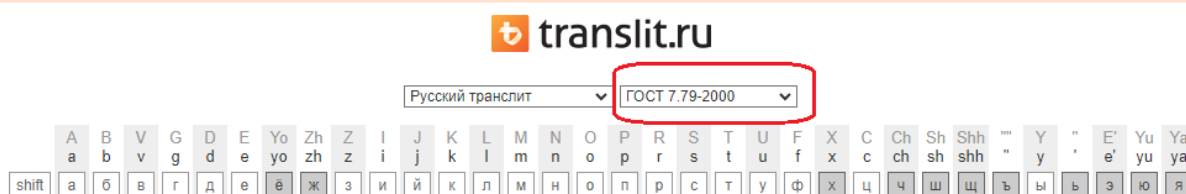
- **если статья на англ. языке**, то только источники на русском и казахском языке даются в латинской транслитерации (REFERENCES);

- **если статья на каз.яз.**, то список дается на каз.яз и в латинской транслитерации;

Обратите внимание, что при составлении списка литературы на английском языке (Reference) недопустимо применение стандартов ГОСТ. Применяемые в этих ГОСТах знаки (// – двойной слеш, тире) не воспринимаются зарубежными системами.

Для составления **Reference** рекомендуется пользоваться программой для автоматического составления списка литературы на английском языке – Mendeley (ссылка для скачивания: <https://www.mendeley.com/download-reference-manager/windows>). Стиль оформления ссылок в списке: **Vancouver Style**.

Транслитерация приводится с использованием онлайн переводчика по ссылке <https://translit.ru/ru>. Стандарт транслитерации ГОСТ 7.79-2000.



Данный онлайн переводчик не проводит транслитерацию специфических букв казахского алфавита. Здесь авторы после транслитерации казахского текста должны провести корректировку, руководствуясь следующими правилами:

Ә	Ғ	Ң	Ө	Ү	Ұ	Қ	І
ä	ğ	ñ	ö	ü	u	k	i

Примеры оформления вариантов списка ссылок References см. в Приложении на сайте.

- сведения об авторе (ах) **на русском, казахском и английском языках**: фамилия, имя, отчество (**полностью**), ученая степень, ученое звание, должность, место работы (место учебы или соискательство), **контактные телефоны (мобильные)**, **e-mail**, полный почтовый адрес (край или область, **индекс**, район или город, улица, дом, квартира).

ПРИ НЕСОБЛЮДЕНИИ ХОТЯ БЫ ОДНОГО ИЗ ЭТИХ ТРЕБОВАНИЙ СТАТЬЯ НЕ ПРИНИМАЕТСЯ К РАССМОТРЕНИЮ.

Только после положительного решения о принятии статьи к публикации осуществляется оплата авторского вознаграждения. Авторы оплачивают авторский взнос самостоятельно или за счет грантов, аффилированных организаций и т.п.

Стоимость одной публикации составляет:

1. Иностранные авторы (без соавторов из РК) – бесплатно
2. Авторы с индексом Хирша более 10 – бесплатно
3. Для сотрудников КРУ имени Ахмет Байтұрсынұлы – **20000** (двадцать тысяч) тенге и **10000** (десять тысяч) тенге, если раздел не включен в перечень изданий КОКСНВО
4. Для сторонних авторов – **40000** (сорок тысяч) тенге для физических лиц и **20000** (двадцать тысяч) тенге, если раздел не включен в перечень изданий КОКСНВО;
– **50000** (пятьдесят тысяч) без НДС для юридических лиц

Наши реквизиты:

- Получатель: Некоммерческое акционерное общество «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы»
- Почтовый адрес: 110000, Республика Казахстан, Костанайская обл., г. Костанай, ул. Ахмета Байтурсынова, 47, корпус 1
тел/факс 8 (7142) 51-11-45

Банковские реквизиты:

БИН: 200740006481
АО "Банк Центр Кредит"
БИК: KSJBKZKX
ИИК: KZ398562203108711441
КБЕ: 16

Контакты:

- 110000, г. Костанай, ул. Ахмета Байтурсынова, 47, корпус 1, каб. 213
КРУ имени Ахмета Байтурсынулы, редакционно-издательский отдел
E-mail: 3i_kru@mail.ru

Оплата статей также осуществляется через приложение Kaspi.kz.

Вы должны выбрать платежи, затем выбрать категорию образования и ввести название университета. Далее в строке ФАКУЛЬТЕТ необходимо заполнить «оплата за статью в журнале «3i»; в строке КУРС указать номер журнала, в котором будет опубликована статья (например, «1 2026»); в строке ИМЯ СТУДЕНТА указать имя автора (авторов); в строке ID СТУДЕНТА должен быть указан ID плательщика (имя держателя карты, через которую производится оплата); в строке ИМЯ ПЛАТЕЛЬЩИКА должно быть указано имя держателя карты, через которую производится платеж.

**Журнал Ахмет Байтурсынулы атындағы
Қостанай өңірлік университетінің
редакциялық-баспа бөлімінде басқармасында
теріліп, беттелді**

Корректорлар: Б. Сыздыкова,
Т. Цай, А. Симонова
Компьютерлік беттеу:
С. Қрасикова, И. Милокумова

Мекен-жайымыз:
110000, Қостанай қ.,
Байтурсынов 47, 213 каб.
Тел/факс: 8 (7142) 55-85-96
E-mail: 3i_kru@mail.ru
Маусым 2026 ж. басуға берілді.
Пішімі 60x84/8. Таралымы 300
Маусым 2026 ж. Тапсырыс № 0150

Ахмет Байтурсынулы атындағы
Қостанай өңірлік университетіндегі
редакциялық-баспа бөлімінде басылған
Қостанай қ., Байтурсынов 47

**Журнал набран и сверстан
в редакционно-издательском отделе
Костанайского регионального университета
имени Ахмет Байтурсынулы**

Корректоры: Б. Сыздыкова,
Т. Цай, А. Симонова
Компьютерная верстка:
С. Красикова, И. Милокумова

Наш адрес:
110000, г. Костанай,
Байтурсынова 47, каб.213
Тел/факс: 8 (7142) 55-85-96
E-mail: 3i_kru@mail.ru
Подписано в печать июнь 2026 г.
Формат 60x84/8. Тираж 300 экз.
Июнь 2026. Заказ № 0150

Отпечатано в редакционно-издательском отделе
Костанайского регионального университета
имени Ахмет Байтурсынулы
г. Костанай, ул. Байтурсынова 47