ISSN 2226-6070
eISSN 3136-3121

BAITURSYNULY UNIVERSITY

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы
Қостанай өңірлік университеті

Костанайский региональный университет
имени Ахмет Байтұрсынұлы

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

intellect, idea, innovation
3i
интеллект, идея, инновация



КӨПСАЛАЛЫ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 3 2026

I часть

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы
Қостанай өңірлік университеті



КӨПСАЛАЛЫ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Қыркүйек (сентябрь) 2026
№ 3 часть 1

“3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация”
2026 ж. қыркүйек № 3, 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
Жарлыгасов 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.

ISSN (Print): 2226-6070
ISSN (Online): 3136-3121

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

© Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті

“3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация”
№ 3, часть 1, сентябрь 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.

ISSN (Print): 2226-6070
ISSN (Online): 3136-3121

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

© Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы

“3i: intellect, idea, innovation”
No. 3, Part 1, September 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
Panteleyenko 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-registeration 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.

ISSN (Print): 2226-6070
ISSN (Online): 3136-3121

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.

© Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University

ХҒТАР 68.38.01
ӘОЖ 637.072
https://doi.org/10.52269/SEPT2631005

RANDOX АНАЛИЗАТОРЫНДА АЗЫҚ ЖӘНЕ АЗЫҚ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ МИКОТОКСИНДЕРДІҢ ҚАЛДЫҚ ҚҰРАМЫН АНЫҚТАУ

Ақанова Ж.Ж. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Есенеева С.С. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.*

Бегенова А.Б. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Кузеубаева А.С. – PhD доктор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада азық және азық қоспаларының микотоксиндермен ластану мәселелері толыққанды қарастырылған. Микотоксиндер – жануарлар мен адам денсаулығына теріс әсер ететін азықтар мен азық қоспаларының табиғи ластауыштарының маңызды топтарының бірі болып саналады. Бұл токсиндер жануарлар үшін өнімділіктің төмендеуі мен бірге, иммундық жүйенің әлсіреуі және көбею функцияларының бұзылуына әкелсе, адамдар үшін де өте әсері зор, денсаулыққа әртүрлі қауіп төндіреді. Зерттеудің мақсаты – Қазақстан аумағында пайдаланатын, көбінде айналымдағы азық және азық қоспаларындағы микотоксиндер қалдықтарының мөлшерін анықтап, олардың жануарлар мен адам денсаулығына кешенді түрде әсерін бағалау. Бақылау объектілері ретінде ең қауіпті микотоксиндердің негізгі топтарының бірі таңдалды: фумонизиндер, охратоксин А, афлатоксиндер (AFB1 және AFG1), дезоксиниваленол, Т2/НТ2 токсиндері және зеараленон. Зерттеу міндеттері: әртүрлі жем санаттарындағы (шырынды, қатаң және қойытылған) микотоксиндер қалдықтарының концентрациясын сандық түрде анықтау, сондай-ақ олардың рұқсат етілген шектерден асып кетуін бағалау. Бұл зерттеу нәтижелері азық және азық қоспаларының микотоксиндермен ластануын зерттеудегі ағымдағы кемшіліктерді толтыруға, анықтау әдістерін жетілдіруге және тәуекелдерді азайтудың кешенді тәсілдерін қолдану қажеттілігін айқындауға бағытталған.

Түйінді сөздер: *афлатоксиндер, азық және азық қоспалары, микотоксиндер, бақылау, тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі, рұқсат етілген нормалар.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ МИКОТОКСИНОВ В КОРМАХ И КОРМОВЫХ ДОБАВКАХ НА АНАЛИЗАТОРЕ RANDOX

Аканова Ж.Ж. – кандидат ветеринарных наук, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Есенеева С.С. – кандидат ветеринарных наук, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.*

Бегенова А.Б. – кандидат ветеринарных наук, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Кузеубаева А.С. – доктор PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

В статье раскрыты вопросы контаминации кормов и кормовых добавок микотоксинами. Микотоксины представляют собой одну из наиболее значимых групп природных загрязнителей кормов и кормовых добавок, оказывающих комплексное негативное воздействие на здоровье животных и человека. Риски для животных и человека различны, но взаимосвязаны. Для животных микотоксины ведут к снижению продуктивности, угнетению иммунитета и нарушению воспроизводства. Цель исследования оценить остаточные количества микотоксинов в образцах кормов и кормовых добавках, собранных по Казахстану, и оценить их комплексное негативное воздействие на здоровье животных и человека. В качестве объектов контроля выбраны основные группы микотоксинов, представляющих наиболее серьезную угрозу: фумонизины, охратоксин А, афлатоксины (AFB1 и AFG1), дезоксиниваленол, токсины Т2/НТ2 и зеараленон. Задачи: количественно определить остатки микотоксинов в различных категориях кормов (сочные, грубые и концентрированные), оценить, превышают ли концентрации остатков допустимые пределы. Полученные результаты исследования призвано восполнить существующий пробел в изучении контаминации микотоксинами корма и кормовые добавки, а также поддержать совершенствование методов их обнаружения и установить необходимость комплексного подхода к снижению рисков.

Ключевые слова: *афлатоксины, безопасность пищевых продуктов, допустимые нормы, микотоксины, корма и кормовые добавки, контроль.*

DETERMINATION OF RESIDUAL MYCOTOXIN LEVELS IN FEED AND FEED ADDITIVES USING THE RANDOX ANALYZER

Akanova Zh.Zh. – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Yesseneyeva S.S. – Candidate of Veterinary Sciences, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

Begenova A.B. – Candidate of Veterinary Sciences, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

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

The article discusses the issues of contamination of feed and feed additives with mycotoxins. Mycotoxins are one of the most significant groups of natural pollutants in feed and feed additives that have a complex negative impact on animal and human health. The risks to animals and humans are different, but interrelated. In animals, mycotoxins can lead to reduced productivity, immunosuppression, and impaired reproductive performance. The research aim was to evaluate the residual mycotoxin levels in feed samples and feed additives collected in Kazakhstan and to assess their complex negative effects on animal and human health. The main groups of mycotoxins that pose the most serious threat were selected as control objects: fumonisins, ochratoxin A, aflatoxins (AFB1 and AFG1), deoxynivalenol, T2/HT2 toxins and zearalenone. The research objectives: to quantify mycotoxin residues in various feed categories (succulent, roughage and concentrated feeds), to assess whether residue concentrations exceed acceptable limits. The obtained research results are intended to fill the existing gap in the study of mycotoxin contamination of feed and feed additives, as well as to support the improvement of methods for their detection and establish the need for an integrated approach to risk reduction.

Key words: *aflatoxins, food safety, permissible levels, mycotoxins, feed and feed additives, control.*

Кіріспе. Мал шаруашылығы өнімдеріндегі ластаушы қалдық заттар, әсіресе малдарға қолданылатын антибиотиктер, гормоналды өсу стимуляторлары мен микотоксиндердің қалдықтары азықтүлік қауіпсіздігі мен халық денсаулығы тұрғысынан маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Бұл заттар малдың азықтарын ластап, нәтижесінде ет, сүт және жұмыртқа сияқты жануарлардан алынатын өнімдерде жинақталуы мүмкін. Осы өнімдерді тұтыну арқылы бұл ластаушы қалдықтар адам ағзасына еніп, иммундық және эндокриндік жүйелерге теріс әсерін тигізеді. Сонымен қатар, бұл заттардың ұзақ мерзімді әсері микробқа қарсы төзімділіктің дамуына ықпал етіп, аурулардың асқыну жағдайына әкеледі. Ғылыми зерттеулер көрсеткендей, мұндай ластаушы заттардың кешенді әсері денсаулыққа зиян келтіріп, халықтың жалпы әл-ауқатына теріс ықпал ететін қауіпті факторларға айналады.

Микотоксиндер – жануарлар мен адам денсаулығына кешенді теріс әсер ететін азықтар мен жануарлардан алынатын тағам өнімдеріндегі табиғи ластаушылардың маңызды топтарының бірі болып табылады. Бұл токсиндер негізінен саңырауқұлақтар тарапынан өндіріліп, азық және азық қоспаларында жинақталады, нәтижесінде олар жануарлар мен адамдарға қауіп төндіреді.

Аса қауіпті микотоксиндер қатарына Aspergillus, Fusarium, және Penicillium тұқымдас саңырауқұлақтар арқылы бөлінетін афлатоксиндер, зеараленон, охратоксин А, трихотецендер және фумонизиндер жатады.

Афлатоксиндер (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2, сонымен қатар AFM1 метаболиті) – Aspergillus flavus және Aspergillus parasiticus саңырауқұлақтары арқылы өндіріледі және олар негізінен жүгері, жержаңғақ, мақта торты мен күрішті зақымдайды. Бұл қосылыстар ыстыққа төзімді болып табылады және өңдеу кезінде өздерінің қасиеттерін сақтайды. Ең қауіптісі – AFB1, ол табиғи канцерогендердің ең күшті түрлерінің бірі ретінде танылған (IARC, 1-топ). AFB1 жануарларда, әсіресе құстарда бауырдың зақымдануына, өнімділіктің төмендеуіне және иммуносупрессияға әкеледі. Ластанған азықты тұтынған күйіс қайыратын жануарлар AFB1-ді AFM1-ге айналдырады, бұл микотоксин сүтпен бөлініп, пастерлеуден кейін де сақталады [1, 4 б.].

Охратоксин А (OTA) – Aspergillus ochraceus, A. carbonarius және Penicillium verrucosum саңырауқұлақтарымен түзілетін микотоксин. Бұл қосылыс негізінен дәнді дақылдарда – бидай, арпа, сұлы, жүгері және соя сияқты өсімдіктерде кездеседі. OTA өңдеуге төзімді болып табылады және жануарлар тіндерінде жиналуға бейім. Бұл микотоксиннің негізгі уыттық әсері бүйректің зақымдануы мен оның канцерогендік және иммуносупрессивті қасиеттерімен байланысты. Шошқалар мен құстар OTA-ға өте жоғары сезімталдық танытады, ал адамдарда бұл микотоксин эндемиялық нефропатиямен байланысты болып, әсіресе құрғақ әдіспен өндірілген ет және шұжық өнімдерінде жинақталуы мүмкін [2, 8 б.].

Деоксиниваленол (DON) немесе вомитоксин – Fusarium graminearum және F. culmorum саңырауқұлақтарымен өндірілетін ең көп таралған микотоксиндердің бірі. Бұл микотоксин көбінесе бидай,

арпа және жүгері дақылдарында кездеседі. DON термиялық өңдеуге төзімді және астықты өңдеу кезінде сақталуы мүмкін. Жануарларда, әсіресе шошқаларда, азықтанудың төмендеуіне, құсу, диарея және иммунитеттің әлсіреуінен өнімділікті айтарлықтай төмендетеді. Адамдарда DON микотоксині асқазан-ішек жолдарының бұзылуына және үздіксіз тұтыну кезінде иммундық қорғаныстың төмендеуіне әкеледі [3, б.94].

Fusarium graminearum және F. culmorum саңырауқұлақтарымен өндірілетін зеараленон (ZEA) – күшті эстрогендік белсенділігі бар микотоксин. Ол ыстыққа төзімді және жүгері, бидай, арпада жиі кездеседі. Ауыл шаруашылығы жануарларында ZEA репродуктивті мәселелерге алып келеді: мегежіндерде бедеулік, түсік тастау, ісіну және сыртқы жыныс мүшелерінің ұлғаюы байқалады, ал құстарда жұмыртқа өнімділігі төмендейді. Адамдар үшін қауіп ұзақ мерзімді әсер ету кезінде гормон тәрізді әсерлердің пайда болуымен байланысты, бірақ уыттылығы афлатоксиндермен салыстырғанда төмен [4, 3 б.].

Фумонизиндер (FB1, FB2, FB3) – Fusarium verticillioides және F. proliferatum саңырауқұлақтарымен өндірілетін микотоксиндер, олар көбінесе жүгері мен жүгері өнімдерінде кездеседі. Бұл токсиндер суда жақсы ериді, ыстыққа төзімді және жануарлар үшін өте улы болып табылады. Фумонизиндер жылқыларда лейкоэнцефаломаляцияны, шошқаларда өкпе ісінуін, ірі қара малдарда өнімділігін төмендеуін және құстарда бауырдың зақымдауын тудырады. Халықаралық қатерлі ісіктерді зерттеу агенттігі (IARC) FB1-ді адамда болуы мүмкін канцерогендер (2B тобы) ретінде жіктеп, оны өңеш қатерлі ісігінің қаупінің жоғарылауымен байланыстырады [5, 3 б.].

Трихотецен тобына жататын T-2 және HT-2 токсиндері – Fusarium sporotrichioides және F. poae саңырауқұлақтарымен өндірілетін микотоксиндер, олар көбінесе сұлы, арпа, бидай және жүгері дақылдарында кездеседі. Бұл токсиндер өңдеуге өте төзімді және айқын уытты әсер етеді, шырышты қабықтың некрозы, жаралардың пайда болуы, иммундық жүйенің басылуы және қан түзілуінің бұзылуын тудырады. Құстарда ауыз қуысының шырышты қабығының некрозды зақымдануы және жұмыртқа өндірісінің төмендеуі байқалады. Сонымен қатар, адамдарда бұл токсиндер тағамдық-токсикалық алейкия ауруының дамуына әкелуі мүмкін. Бұл ауру гемопоэздің (қан түзілу) бұзылуымен сипатталады және ауыр ауыр зардаптарға, оның ішінде қан аурулары мен иммундық тапшылыққа әкелуі мүмкін [6, 7б.; 7, 508 б.].

Микотоксиндер мутагендік, тератогендік және иммуносупрессивті әсерлері бар, инфекцияларға сезімталдықты арттырып, вакциналардың тиімділігін төмендетеді. Awuchi және т.б. жүргізген шолуда (2025) микотоксиндердің адам ағзасына әсері тек тамақ арқылы ғана емес, сонымен қатар тыныс алу немесе тері арқылы да болу мүмкін екені көрсетілген, ал созылмалы әсері канцерогендік және иммундық жүйені бәсендететін әсерлермен байланысты екенін көрсетті [8, 6 б.]. Микотоксиндер адам мен жануарлардың денсаулығына қауіп төндіріп, сонымен қатар ауыл шаруашылығында айтарлықтай экономикалық шығындарға әкеліп, бұл мәселені жаһандық деңгейде өзекті етеді [9, 158 б.]. Еуропалық қоршаған орта агенттігінің (2025) есебіндегі климаттың өзгеруі азық түліктің микотоксиндермен, әсіресе дезоксиниваленолмен ластану қаупін арттыратынын және бірқатар Еуропалық өңірлерде қауіпсіз әсер деңгейінен асатын халықтың үлесі артып келе жатқанын көрсетілген. Бұл зерттеу микотоксиндердің азық-түлік өнімдеріндегі жоғары деңгейлері мен олардың денсаулыққа әсерін басқару қажеттілігін көрсетеді. Заманауи деректерді жүйелеу арқылы микотоксиндерді анықтау әдістерін жетілдіру және қауіпті азайту үшін кешенді тәсілдің қажеттілігі туралы шолуда ерекше атап өтілген [10, 2 б.].

Микотоксикоздар жануарлардың физиологиялық көрсеткіштеріне теріс әсер етіп, өнімділіктің төмендеуіне және шаруашылық шығындарының артуына әкеледі. Микотоксиндердің зиянды әсерін азайту мақсатында профилактикалық шаралар маңызды болып табылады. Оларға адсорбенттерді қолдану, азықтың сақтау жағдайларын жақсарту, сондай-ақ биологиялық препараттар арқылы микотоксиндерді бейтараптандыру кіреді [11, 22 б.]. Микотоксиндер мен пестицидтерді азық-түлік қауіпсіздігіне қауіп төндіретін факторлар ретінде қарастыру олардың биологиялық әсерін терең түсінуге мүмкіндік береді. Зерттеулер көрсеткендей, бұл контаминанттар мутагендік белсенділікке ие болып, иммундық жүйенің қызметін әлсіретеді. Сонымен қатар, олардың мал азығы мен тағам құрамында болуы токсикалық әсердің кумулятивтілігін күшейтеді [12, 28 б.].

Тәжірибелік бақылау деректері Россельхознадзор материалдарында (2023) ұсынылған, онда Брянск қаласындағы «ВНИИЗЖ» ФМБУ зертханасы жүргізген екі мыңнан астам астық өнімін зерттеу туралы хабарланған. Үлгілерде афлатоксин B1, дезоксиниваленол және T-2 токсині үнемі анықталып отырды, бұл ластанудың жоғары деңгейін және тұрақты зертханалық бақылау қажеттілігін көрсетеді [13, 194 б.].

Микотоксиндердің қауіпін бағалауда бірлескен ластану, яғни мал азығында бірнеше микотоксиндердің бір мезгілде болуы ерекше мәнге ие. Әрбір микотоксиндердің концентрациясы рұқсат етілген деңгейден аспаған жағдайда да, олардың бірлескен әсері токсикалық әсердің синергетикалық күшеюіне әкелуі мүмкін. Сол себепті, Еуропалық Одақ пен басқа елдердің заманауи бақылау жүйелері LC-MS/MS сияқты жоғары сезімтал аналитикалық әдістерді пайдалана отырып, көп микотоксинді талдауға ерекше көңіл бөлуде [14, 4 б.].

Халықаралық ұйымдар, оның ішінде Азық-түлік және ауыл шаруашылығы ұйымы (FAO) мен Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы (ДДСҰ), микотоксиндерді жаһандық деңгейде реттеу мен бақылау қажеттігін атап көрсетеді. Дегенмен, әр елдегі ұлттық тәсілдер айтарлықтай ерекшеленеді. Мысалы, АҚШ-та осы саладағы жауапкершілік FDA мен EPA-ға жүктелсе, Канадада – CFIA басқарады. Еуропалық Одақ афлатоксиндер мен басқа микотоксиндер үшін нақты максималды деңгейлерді бел-

гілеген. Қытай және басқа Азия елдерінде ережелер үнемі күшейтіліп отырады, ал Бразилия мен Латын Америкасы елдерінде микотоксиндерді бақылау, әсіресе ауыл шаруашылығы өндірісінің көлеміне байланысты, ерекше маңызды болып табылады [15, 4 б.; 16, 2 б.; 17, 4 б.].

Жаһандық зерттеулер көрсеткендей, микотоксиндердің орташа деңгейі әдетте белгіленген шектерден аспайды, алайда кейбір жағдайларда, әсіресе маусымдық қауіп-қатер кезеңдерінде, бұл деңгейлер жиі асып кетеді. Сонымен қатар, авторлар ірі қара мен қой шаруашылығына қатысты деректердің жеткіліксіз екенін атап көрсетеді, ал шошқа мен құс шаруашылығы үшін микотоксиндерді бағалауға арналған биомаркерлер негізінде ақпараттық панельдер жасалған [18, 3 б.].

Мониторинг тәжірибесі сыртқы әсерді (азық құрамын талдау) және ішкі әсерді (сүттегі, зәрдегі және басқа биологиялық сұйықтықтардағы метаболиттерді анықтау) бақылауды біріктіреді. Сүт бағытындағы мал шаруашылығында негізгі көрсеткіш – сүттегі афлатоксин М1, ол афлатоксин В1-нің жемнен сүтке өтуін көрсетеді. Zentai және әріптестерінің шолуы бойынша, афлатоксин В1-нің сүтке өтуі орташа есеппен 1–2 % құрайды, бірақ жоғары өнімді сиырларда бұл көрсеткіш 6 %-ға дейін жетуі мүмкін. Бұл үдеріс сүт өнімділігі, азық мөлшері мен сапасы, маусымдық және климаттық факторлар, сондай-ақ адсорбенттердің қолданылуына тәуелді. Айта кетерлігі, афлатоксин М1 ластанған азықпен азықтандырғаннан кейін бірнеше сағат ішінде анықталуы мүмкін, ал оның деңгейі азық беруді тоқтатқан соң бірнеше күн ішінде төмендейді. Бұл ақпарат сүт өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету және афлатоксин В1-дің рұқсат етілген деңгейлерін азық-түлік базасында бақылау үшін маңызды [18, 8 б.].

Микотоксиндерді заманауи бақылау негізінен «скрининг және растау» тәсіліне сүйенеді. Жылдам ИФА сынақтары мен биосенсорлар қауіпті шикізат партияларын тез анықтауға мүмкіндік береді, ал LC-MS/MS әдістері жоғары дәлдікті қамтамасыз етіп, токсин қоспаларын талдауды растау үшін «алтын стандарт» ретінде қолданылады. Оптикалық және наноматериалдарға негізделген биосенсорлық технологиялар жедел диагностика үшін жоғары перспективаны көрсеткенімен, әзірге олардың стандарттылуы мен нақтылауы қажет. Алдын алу және қалпына келтіру шараларының ішінде, әсіресе афлатоксиндерге қарсы тиімділігі дәлелденген адсорбенттер және токсиндерді жою үшін микроорганизмдер мен ферменттерді қолданатын биологиялық әдістер маңызды рөл атқарады. Сонымен қатар, бірнеше микотоксин түрін бір мезгілде бақылауға мүмкіндік беретін біріктірілген стратегиялар үлкен әлеуетке ие деп бағаланады [19, 2 б.].

ЕАЭО елдері, оның ішінде Қазақстан, микотоксиндер мәселесін тағам өнімдері мен астық қауіпсіздігіне қойылатын талаптарды белгілейтін ЕАЭО ТР 021/2011 және ЕАЭО ТР 015/2011 техникалық регламенттері шеңберінде реттейді. 2015 жылдан бастап Қазақстанда күшіне енген «Органикалық өнімдерді өндіру және оның айналымы туралы» заңға сәйкес, маусымдық факторлар мен өңірлік ерекшеліктерді ескере отырып, микотоксиндердің мониторингін енгізу және LC-MS/MS әдісі бойынша Ұлттық зертханалық желіні дамыту өзекті мәселеге айналды. Жайылымдық алқаптардың жоғары үлесі мен органикалық өндіріс әлеуетін ескере отырып, жемшөптің ластануын алдын алу және HACCP жүйесіне негізделген құжатталған жоспарларды жүзеге асыру басты міндет болып табылады. Бұл шаралар жануарлар мен адам денсаулығына төнетін қауіп-қатерді азайтып, әлемдік нарықтағы өнімнің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға және ұлттық стандарттарды Codex Alimentarius пен EFSA халықаралық тәсілдерімен үйлестіруге мүмкіндік береді.

Қазіргі деректер азықтың бірнеше микотоксиндермен бір мезгілде ластануының жиі кездесетінін көрсетеді, бұл қауіпті бағалауды күрделендіріп, жеке токсиндерді талдаудан кешенді, көп факторлы бағалауға өту қажеттігін туындатады.

Азық және азық қоспаларының қауіпсіздігін бақылау әдістерін талдау көрсеткендей, антибиотиктердің қалдық мөлшері, өсу стимуляторларын қолдану және микотоксиндермен ластану осы саладағы негізгі мәселелер болып қалуда. Бұл факторлар жүйелі түрде әсер етіп, бастапқы ауыл шаруашылық өндірісінен өнімді өңдеуге және сатуға дейінгі барлық кезеңдерді қамтиды. Соңғы жылдардағы маңызды жетістіктердің бірі – Randox Evidence Investigator Myco 7 сияқты мультиплексті биочип платформаларын енгізу, олар бір уақытта жоғары сезімталдық пен талдау жылдамдығы арқылы ең қауіпті жеті микотоксинді анықтауға мүмкіндік береді. Мұндай технологияларды қолдану ластанудың маңызды деңгейлерін уақтылы анықтауға, сондай-ақ ұлттық тәсілдерді Еуропалық Одақ пен ДДСҰ-ның халықаралық регламенттерімен үйлестіруге ықпал етеді.

Мақсаты: азық және азық қоспаларының микотоксиндермен ластануын бағалау.

Зерттеу міндеттері: 1. Азықтың әртүрлі категорияларында (шырынды, қатаң және қойытылған) микотоксиндердің қалдықтарын сандық түрде анықтау. 2. Шырынды, қатаң және қойытылған азықтарында микотоксиндердің қалдықтары концентрациясының рұқсат етілген шектерден асуын бағалау.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу *жұмыстары С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің* Биологиялық қауіпсіздік жөніндегі Қазақстан-Қытай бірлескен зертханасында жүргізілді. Зерттеуге дәнді дақылдардың үлгілері, әртүрлі сатылардағы аралас құрама жемдер, шроттар, экструдаттар, түйіршіктелген қоспалар, ет-сүйек және балық ұны, сондай-ақ астық өңдеудің жанама өнімдері қосылды. Бақылау нысаны ретінде жануарлар денсаулығына және жанама түрде адамның денсаулығына ең үлкен қауіп төндіретін микотоксиндердің негізгі топтары таңдалды: фумонизиндер, охратоксин А, афлатоксиндер (AFB1 және AFG1), дезоксиниваленол, Т-2/HT-2 токсиндері және зеараленон.

Үлгілерді алу жоспарына азық және азық қоспаларын қарқынды өңдейтін өңірлерден – Алматы, Астана, Шымкент және Қарағанды сияқты ірі қалалардан – таңдалған. Зерттеу кезеңінде отандық және импорттық өндірістен 98 азық және азық қоспасының үлгілері алынды. Үлгілерді алу МЕМст 27262-87 «Өсімдік тектес азық» және МЕМст 13586.3–83 «Астық. Сынамаларды қабылдау ережелері мен іріктеу әдістері» стандартына сәйкес жүргізілді, барлық көрсетілген ережелер сақталды. Әр партиядан кем дегенде 10 нүктелік сынама тот баспайтын болат зонд арқылы алынды. Үлгілер құрамды сынама ретінде біріктіріліп, таңбаланды және құрғақ пластик пакеттерге тығыздалды. Барлық үлгілер зертхана жағдайында 60 °C температурада 12 сағат бойы кептіру шкафында кептірілді. Талдауға дайындау стандарттарға сәйкес жүргізіліп, жем немесе дәнді дақылдардың ұнтақталған үлгісі пайдаланылды. 5 г сынамадан 0,5 мм сүзгіден өткізілген, ацетонитрил–метанол–су (50:40:10) қоспасымен экстракция жасалды, кейін үлгілер шайқалып, орап және центрифугадан өткізілді. Алынған супернатант буфермен сұйылтылды: сезімтал режимде – 20 есе, бақылау режимінде – 250 есе. Бағдарламалық қамтамасыз ету сұйылту коэффициентін ескере отырып, концентрацияларды автоматты түрде реттейді. Барлық үлгілер зертханалық журналға тіркеліп, жеке кодтармен белгіленді. Алайда, үлгілердің ылғал мөлшері мен біртектілігіне қатысты алдын ала талдаулар жүргізілмеді.

Микотоксиндерді азық және азық қоспаларында анықтау үшін Randox (Ұлыбритания) компаниясының Evidence Investigator биочиптік жүйесі қолданылды. Randox Evidence Investigator™ MYCo 7 әдістемесі дәнді дақылдар мен жемшөптегі ең маңызды жеті микотоксинді бір уақытта сандық түрде анықтауға мүмкіндік береді: фумонизиндер (FB1, FB2), охратоксин A (OTA), афлатоксиндер B1 және G1, дезоксиниваленол (DON), трихотец токсиндері (T-2/HT-2) және зеараленон (ZEN). Әдіс Evidence Investigator™ биочип платформасында химилюминесцентті иммундық талдауға негізделген, онда сигнал қарқындылығы талданатын заттың концентрациясына кері пропорционалды. Калибрлеу 9 нүктелі стандартты қисық арқылы жүргізілді; калибрлеу ерітінділері 1 мл ионсыздандырылған суда ерітіліп, құйынды араластырғышта 30 минут араластырылды және дереу қолданылды. Әрбір жиынтықта өнімділікті тексеру үшін сапаны бақылау материалдары пайдаланылды. Барлық процедуралар Randox валидация хаттамаларына және Еуропалық дәрі-дәрмек агенттігінің ұсыныстарына сәйкес жүргізілді.

Статистикалық талдау IBM SPSS Statistics 25.0 (IBM Corp., Армонк, Нью-Йорк, АҚШ) бағдарламалық пакетін пайдалану арқылы жүргізілді. Сипаттамалық статистикаға орташа мән, стандартты ауытқу, минималды және максималды мәндер есептелді. Топтарды салыстыру дисперсиялық талдау (ANOVA) арқылы жүргізіліп, статистикалық маңыздылық $p < 0,05$ деңгейінде бағаланды.

Нәтижелер. 2024–2025 жылдары микотоксиндердің құрамын зерттеу мақсатында әртүрлі шығу тегіндегі жемшөптерге ауқымды зерттеу жүргізілді. Үлгілер ірі сүт фермалары, шаруа қожалықтары, агрофирмалар, оқу және ғылыми мекемелер, сондай-ақ Ресей, Қытай және Даниядан келген импорттық азық-түлік жеткізілімдерін қоса алғанда, 51 бірегей нүктеден алынды. Географиялық қамту Қазақстанның барлық негізгі ауыл шаруашылығы өңірлерін – Павлодар, Ақмола, Алматы, Солтүстік Қазақстан, Батыс Қазақстан, Шығыс Қазақстан, Ақтөбе облыстары және Шымкент қаласын – қамтыды. Зерттеуге жеке шаруашылықтар мен ірі кәсіпорындар, сондай-ақ өңдеушілер мен жеке өндірушілер қатысты.

Мұндай кең ауқым үлгілерді таңдаудың репрезентативтілігін қамтамасыз етіп, микотоксиндер мәселесін ұлттық және аймақтық деңгейде бағалауға мүмкіндік берді. Қазақстанның 10 қаласынан жиналған әртүрлі азық және азық қоспаларының үлгілері талданды (1-сурет).

Зерттеулерде Randox Evidence Investigator™ Myco 7 әдістемесі қолданылды, ол дәнді дақылдар мен жемшөптегі ең маңызды жеті микотоксинді бір мезгілде анықтауға мүмкіндік береді: фумонизиндер (FB1, FB2), охратоксин A (OTA), афлатоксиндер B1 және G1, дезоксиниваленол (DON), трихотец токсиндері (T-2/HT-2) және зеараленон (ZEN).



1 сурет – Қазақстандағы азық және азық қоспаларының үлгілерін іріктеудің географиялық пункттері

Талдау жүргізу үшін жем Randox стандартталған протоколына сәйкес алдын ала дайындалды: үлгілер біртекті күйге келтіріліп, органикалық еріткішпен экстракция жасалды, кейін қоспаны тазалап, суспензияларды кетіру үшін центрифугаланды. Алынған сығынды буферлік ерітіндімен жұмыс концентрациясына дейін сұйылтылып, биочип ұңғымаларына енгізілді (2, 3-сурет).



2 сурет – Ауыл шаруашылығы жануарларының жемшөп сынамаларын іріктеу (Ақмола облысы)



3 сурет– Жем үлгілерін електен өткізу арқылы гомогенизациялау және талдауға дайындау

Бұл әдіс халықаралық маңызы бар жеті негізгі микотоксинді бақылауға мүмкіндік береді. Сезімтал режимде анықтау шектері келесідей: афлатоксин B1 – 0,25 ppb, афлатоксин G1 – 0,5 ppb, охратоксин A – 0,4 ppb, T-2/HT-2 токсиндері – 7 ppb, зеараленон – 5 ppb, дезоксиниваленол – 80 ppb, фумонизиндер – 175 ppb. Бұл мәндер Еуропалық Одақтағы ең жоғары рұқсат етілген деңгейлермен (MRL) салыстырғанда төмен немесе сәйкес келеді, сондықтан әдіс ресми бақылауға жарамды деп есептеледі.

Зерттеу барысында Еуропалық Одақ ережелеріне сәйкес (№ 1881/2006 ЕС және одан кейінгі жаңартулар) тамақ өнімдеріндегі микотоксиндерге қатаң шектеулер анықталды. Афлатоксиндер үшін рұқсат етілген максималды деңгейлер: AFB1 – 2 мкг/кг, афлатоксиндердің қосындысы (B1, B2, G1, G2) – 4 мкг/кг, сүттегі AFM1 – 0,05 мкг/кг. Охратоксин А деңгейлері дәнді дақылдар үшін 3 мкг/кг, ал кофе, какао және кептірілген жемістер үшін 5 мкг/кг құрайды. Дезоксиниваленол үшін дәнде рұқсат етілген шек 1250 мкг/кг, ал балалар тағамында – 200 мкг/кг аспайды. Зеараленон үшін максималды деңгейлер балалар тағамында 20 мкг/кг, негізгі тамақ өнімдерінде 100 мкг/кг-ға дейін өзгереді. Фумонизиндер (B1 + B2) үшін жүгері ұны 1000 мкг/кг, өңдеуге арналған жүгері – 4000 мкг/кг шегіне дейін рұқсат етіледі. EFSA T-2 және HT-2 токсиндері үшін денсаулыққа қауіп төндірмейтін нұсқаулық деңгейлерін сұлы мен жүгеріде 100 мкг/кг деп ұсынды (1-кесте).

1 кесте – Randox Evidence Investigator™ MYCo 7 (EV4065) әдісі бойынша микотоксиндерді анықтау параметрлері әрбір микотоксин үшін төмендегідей көрсетілген: анықтау шегі (LOD), ЕО нормативтік деңгейлері (MRL) және токсикологиялық маңызы (клиникалық маңыздылығы)

Микотоксин	LOD Myco 7 (сезімтал режим, ppb)	ЕО нормативтік деңгейі (MRL, μg/kg)	Токсикологиялық маңызы
Афлатоксин B1 (AFB1)	0,25	Дәнді дақылдар мен жаңғаққа – 2; балалар тағамы – 0,1–0,2; сүттегі AFM1 – 0,05	I топ канцероген (IARC), бауыр зақымдануы, гепатокарцинома
Афлатоксин G1 (AFG1)	0,5	Афлатоксиндердің қосындысы (B1, B2, G1, G2) – 4 дәнді дақыл мен жаңғаққа; балалар тағамы – 0,5–1	AFB1-ге ұқсас уыттылық, канцерогендік және мутагендік әсер
Охратоксин A (OTA)	0,4	Дәнді дақылдар мен балалар тағамы – 3; кофе, какао, кептірілген жемістер – 5; жүзім – 10	Нефротоксин, иммуносупрессивті, канцерогендік
Дезоксиниваленол (DON)	80	Дәнді дақылдар – 1250; наубайшылық өнімдер – 750; балалар тағамы – 200	Ақуыз синтезін тежеу, құсу, анорексия, салмақ жоғалту
T-2/HT-2 токсиндері	7	EFSA индикативті деңгейлері: сұлы мен жүгері – 100; балалар өнімдері – 15–50	Күшті цитотоксикалық әсер, иммуносупрессия, асқазан-ішек зақымдануы
Фумонизиндер (B1+B2+B3)	175	Жүгері ұны – 1000; өңдеуге арналған жүгері – 4000; балалар тағамы – 200	Гепатотоксикалық, нефротоксикалық, мүмкін канцероген (IARC 2B)
Зеараленон (ZEA)	5	Дәнді дақылдар – 100; нан мен макарон – 50–75; балалар тағамы – 20	Эстрогенді белсенділік, репродуктивті бұзылыстар, әсіресе шошқаларда

Әрбір микотоксиннің клиникалық және санитарлық маңызы мұндай бақылаудың қажеттілігін айқын көрсетеді. Азық және азық қоспаларындағы микотоксиндерді анықтау үшін Randox биочип жүйесі қолданылды, бұл жүйе азықтың қауіпсіздігіне әсер ететін факторларды бағалау үшін микотоксиндердің ең төменгі концентрацияларын дәл анықтауға мүмкіндік береді.

2-кестеде азық және азық қоспаларындағы микотоксиндерді анықтау нәтижелерінің статистикалық талдауы ұсынылған.

2 кесте – Азық және азық қоспаларындағы негізгі микотоксиндердің концентрациясы (орташа мән, стандартты ауытқу және диапазон, μg/kg)

Микотоксин	Азық түрлері	n	Оң үлгілер саны	Орташа ± SD	мин	макс
Fumonisins (FUM)	Жем қоспалары	62	1	29,81±123,56	17,30	951,96
	Минералды жем қоспалары	8	0	6,13±15,76	4,105	45,003
Ochratoxin A (OTA)	Шырынды азықтар	28	8	0,40 ± 0,53	0,106	2,5
	Жем қоспалары	62	42	1,18 ± 1,23	0,11	6,54
	Минералды жем қоспалары	8	3	0,39 ± 0,37	0,09	1,11
Aflatoxin G1 (AFG1)	Шырынды азықтар	28	3	0,23 ± 0,20	0,031	0,909
	Жем қоспалары	62	15	0,40 ± 0,44	0,06	3.14
	Минералды жем қоспалары	8	2	0,54 ± 0,84	0,008	2,034
Deoxynivalenol (DON)	Шырынды азықтар	28	4	43,05 ± 27,38	9,75	110.19
	Жем қоспалары	62	15	67,43 ± 36,44	28,80	225,76
	Минералды жем қоспалары	8	1	37,38 ± 35,13	11.16	119,98
T2 / HT2	Шырынды азықтар	28	1	1,06 ± 1,18	0,22	6.334
	Жем қоспалары	62	9	3,85 ± 5,68	0,49	33,38
	Минералды жем қоспалары	8	0	0,60 ± 0,35	0,27	1,319

2-кестенің жалғасы

Aflatoxin B1 (AFB1)	Минералды жем қоспалары	28	2	0,09 ± 0,24	0,016	1,26
	Шырынды азықтар	62	4	0,09 ± 0,07	0,03	0,39
	Жем қоспалары	8	1	0,10 ± 0,11	0.016	0,31
Zearalenone (ZEA)	Минералды жем қоспалары	28	2	1,00±1,00	0,03	4,289
	Шырынды азықтар	62	18	6,18±6,8	0,10	39,80
	Жем қоспалары	8	1	2,4±5,03	0,003	14,54

Алынған деректерді талдау фумонизиндердің қауіп деңгейі бойынша салыстырмалы түрде төмен екенін көрсетті, себебі олардың концентрациясы көптеген үлгілерде рұқсат етілген шектерден айтарлықтай асқан жоқ. Дегенмен, кейбір үлгілерде, әсіресе құрама жемдерде, түйіршіктерде және бидай қалдықтарының кейбір түрлерінде фумонизиндердің деңгейі 951,9 бөлік миллиардқа дейін жетті, бұл белгіленген рұқсат етілген 175 бөлік миллиардтан бірнеше есе жоғары болды.

Фумонизиндермен жоғары ластану әсіресе құс шаруашылығында қолданылатын бастапқы және өсу топтарына арналған құрама азықтарында айқын байқалды. Охратоксин А-ның деңгейі көптеген үлгілерде 0,1-ден 1,8 бөлік миллиардқа дейін ауытқып, кейбір жағдайларда 0,4 бөлік миллиардтан асып түсті. Ең жоғары концентрация ашытқыларда, түйіршіктерде және құрама жемдерде тіркелді, мұнда охратоксин А деңгейі 6,5 бөлік миллиардқа жетті.

Афлатоксиндер тобы ерекше назар аударуды талап етеді, себебі бұл микотоксиндер әсіресе уыттылығы мен канцерогенділігімен танымал. Афлатоксин В1, ең улы және канцерогенді микотоксиндердің бірі, көптеген үлгілерде 0,25 ppm нормасынан асып түсті. Балық ұнында оның концентрациясы 1,26 бөлік миллиардқа дейін жеткен, ал арпа қалдықтарында 5,8 бөлік миллиардқа жоғары мәндер тіркелді. Сонымен қатар, афлатоксин G1 рұқсат етілген деңгейден жоғары концентрацияда анықталды, құрама жем мен ашытқыда оның деңгейі 2,2 бөлік миллиардқа дейін жетті.

Дезоксиниваленол зерттелген сынамаларда анықталды. Оның деңгейі көптеген үлгілерде рұқсат етілген шектен айтарлықтай жоғары болды, 80 бөлік миллиардтан асқан көрсеткіштер байқалды. Ең жоғары деңгейлер түйіршіктерде 225,7 бөлік миллиардқа және құрама жемде 186 бөлік миллиардқа жетті. Бұл токсин астық қалдықтары мен құрама жемді қоса алғанда, барлық өнім санаттарында анықталды, бұл оны жем базасының ластануының маңызды индикаторы ретінде сипаттауға мүмкіндік береді.

Т2/НТ2 токсиндері де айтарлықтай қауіп төндіреді, олардың шекті рұқсат етілген концентрациясы 7 бөлік миллиард құрайды. Бірқатар үлгілерде көрсеткіштер 10-20 бөлік миллиардтан асты, ал жемшөпте 33,4 бөлік миллиардқа дейінгі жеткен. Бұл ластану деңгейінің жоғары болуы стартты және өсу кезеңіндегі азықтардың ең бейім болып табылатынын және құс шаруашылығы үшін жүйелі қауіп төндіретінін көрсетті.

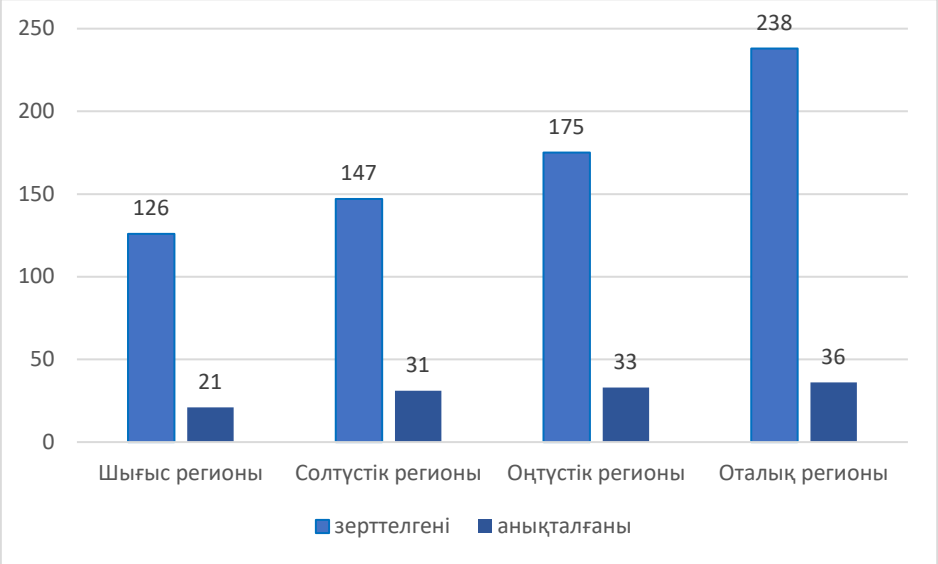
Айқын эстрогендік әсері бар зеараленон көптеген үлгілерде рұқсат етілген мөлшерден асып кеткені анықталды. Белгіленген норматив 5 бөлік миллиардты құрайды, алайда Павлодар түйіршіктерінде зеараленонның деңгейі 39,8 бөлік миллиардқа, құрама жемде – 32,5 бөлік миллиардқа, ал арпа қалдықтарында – 27,8 бөлік миллиардқа дейін жетті. Бұл токсиннің жоғары концентрациясы әсіресе құрама жемдерде, түйіршіктерде және астық өңдеудің жанама өнімдерінде жиі тіркелді.

Қазақстанның өңірлері бойынша алынған нәтижелерді талдай отырып, сынамалардың басым бөлігі орталық аймақтан алынғанын атап өткен жөн. 36 сынаманың ішінен ең көп жағдайда микотоксиндердің бар екені анықталды.

Қазақстанның шығыс бөлігінде микотоксиндерді анықтау мақсатында 5 өндірушінің құрама жемдері мен шырынды жемдерінен 18 сынама алынды. Зерттеу нәтижелері бойынша фумонизиндер, афлатоксин В1 және Т2/НТ2 токсиндері анықталмады.

Зерттеу нәтижелері бойынша шығыс Қазақстанның сынамаларында охратоксин А (ОТА) 8 үлгіде анықталды, олардың деңгейі рұқсат етілген шек – 0,40 ppb-дан сәл жоғары болып, 0,41-ден 0,90 ppb аралығында өзгеріп, орташа мәні 0,63 ppb болды. Афлатоксин G1 тек бір үлгіде стандарттан 0,07 ppb-ға асып түсті. Дезоксиниваленол (DON) үш үлгіде 82-ден 93 ppb аралығында аздап өсті, бұл рұқсат етілген 80 ppb шегінен асқан көрсеткіш болды. Зеараленон (ZEA) микотоксиндері тоғыз үлгіде анықталды, олардың барлығында зеараленонның деңгейі рұқсат етілген шектен екі есе жоғары болды, орташа мәні 9,6 ppb құрап, стандартты шек 80 ppb-дан айтарлықтай асып түсті.

Солтүстік өңірлерде микотоксиндерді анықтау үшін жемшөп пен жемшөп қоспаларынан 21 сынама алынды. Зерттеу нәтижелері бойынша фумонизиндерден басқа микотоксиндердің барлық түрлері анықталды. Охратоксин А (ОТА) 8 сынамада табылды, оның деңгейі рұқсат етілген нормадан 3-тен 13 есеге дейін жоғарылады, ал 2 сынамада бұл көрсеткіш 50 еседен астам өскен. Бұл сынамаларда микотоксиндердің көбеюі бірнеше микотоксин түрлері бойынша байқалды, атап айтқанда афлатоксин G1, В1 және зеараленон (ZEA) деңгейлері 5-тен 20 есеге дейін артты. Сонымен қатар, дезоксиниваленол (DON) және Т2/НТ2 токсиндері зерттелген сынамалардың 20%-ында анықталды. Т2/НТ2 токсиндерінің деңгейі рұқсат етілген нормадан 2 есе жоғары болды, ал дезоксиниваленол деңгейі 80 ppb нормасымен салыстырғанда 86-дан 186 ppb аралығында өзгерді.



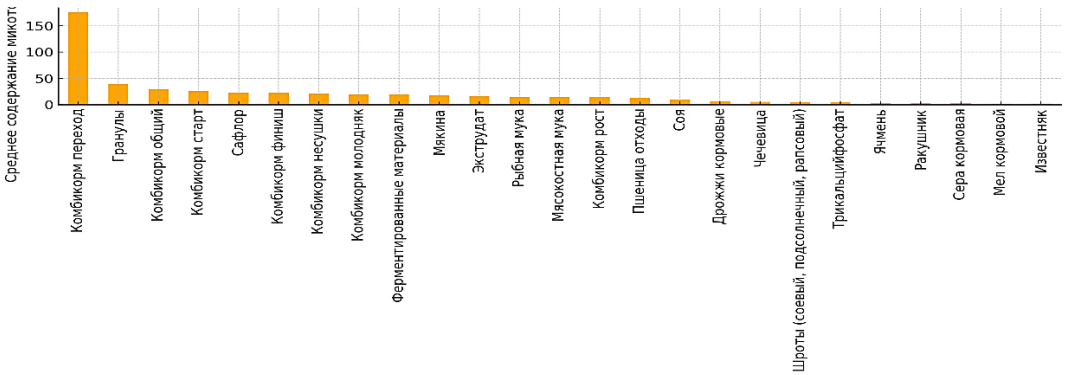
4 сурет – Қазақстан өңірлері бойынша зерттеу нәтижелері

Қазақстанның оңтүстік бөлігінде зерттелген 25 сынаманың 15-де охратоксин А (Ochratoxin A) 0,60-тан 6,50 бөлік миллиард аралығында анықталды, ал рұқсат етілген шегі 0,40 бөлік миллиард болды. Афлатоксин В1 анықталмады. Микотоксиндердің концентрациясы нормадан ауытқып, фумонизиндер тек бір үлгіде анықталды, бірақ оның деңгейі рұқсат етілген шектен 5 есе жоғары болып, 951,95 бөлік миллиардты көрсетті. Афлатоксин G1, дезоксиниваленол (Deoxynivalenol) және Т2/НТ2 токсиндері бірнеше сынамаларда сәл жоғарылау деңгейде анықталды.

Орталық аймақта зерттелген 34 сынамада фумонизиндер анықталмады, бірақ Т2/НТ2 токсиндері бір сынамада рұқсат етілген деңгейден 2 есе жоғары болды, ал афлатоксин В1 екі сынамада аздап жоғарылағаны байқалды. Орталық аймақтың микотоксиндермен ластануына қатысты алаңдаушылық туғызған ең маңызды фактор – охратоксин А (Ochratoxin A). Бұл микотоксин 20 сынамада анықталды, бұл жалпы үлгілердің 59%-ын құрайды. Охратоксин А деңгейі 0,51-ден 4,0 бөлік миллиард аралығында өзгеріп, үш сынамада оның концентрациясы рұқсат етілген 0,40 бөлік миллиард шегінен асып, 20,4 бөлік миллиардқа дейін жетті.

Аймақтар бойынша салыстыру микотоксиндермен ластану деңгейлерінде айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті. Шымкентте жем қоспалары, мысалы, үшкальций фосфаты, бор, күкірт және ұлутас салыстырмалы түрде қауіпсіз көрсеткіштерді көрсетті, алайда ет-сүйек ұнында фумонизиндер 45 бөлік миллиард деңгейінде анықталды. Алматыда ең қатты ластанған құрама жемдер болды, мұнда фумонизиндердің концентрациясы 900 бөлік миллиардтан асып, дезоксиниваленол 200 бөлік миллиардтан жоғары болды. Павлодар мен Қарағанды облыстарында түйіршіктер мен ашытылған шикізаттарда дезоксиниваленол мен зеараленонның жоғары деңгейлері анықталды. Ақмола облысында құрама жемдер мен ақуыз-минералды витаминді қоспаларда да дезоксиниваленол мен зеараленон деңгейлері жиі рұқсат етілген нормадан асып немесе оған жақындап қалды.

Азық және азық қоспаларындағы микотоксиндерді зерттеу дәнді дақылдар, әр түрлі сатыдағы құрама жемдер, шроттар, экструдаттар, түйіршіктелген қоспалар, ет-сүйек және балық ұны, сондай-ақ астық өңдеудің жанама өнімдерін қоса алғанда, әртүрлі шығу тегі бар тоқсаннан астам үлгілерін қамтыды. Зерттеу барысында бақылау нысандары ретінде жануарлар мен жанама түрде адамның денсаулығына ең үлкен қауіп төндіретін микотоксиндердің негізгі топтары таңдалды. Бұл топтарға афлатоксиндер, фумонизиндер, охратоксиндер, зеараленон, дезоксиниваленол және Т2/НТ2 токсиндері жатады (5-сурет).



Сурет 5 – Азық түрлері бойынша микотоксиндер табылған орташа көрсеткіштері

Талқылау. Осылайша, жүргізілген зерттеу мал шаруашылығына және жануарлардан алынатын өнімдердің қауіпсіздігіне ең үлкен қауіптер зерттелген сынамалардың едәуір бөлігіндегі рұқсат етілген шекті концентрациядан айтарлықтай асатын фумонизиндермен, дезоксиниваленолмен және зеараленонмен байланысты екенін анықтады. Ең осал санаттар ретінде құстарға арналған жемдер мен түйіршіктер анықталды, бұл олардың құрамындағы ерекшеліктерге және өндіріс технологиясына байланысты.

Алынған деректерге сүйене отырып, құс пен жас мал азығына арналған жемдегі микотоксиндерді жүйелі түрде бақылау қажеттілігі және құрамды жем өндіруде қолданылатын дәнді қосалқы өнімдерді тұрақты тексеру қажеттігі айқындалды. Бұл шаралар микотоксиндердің деңгейін басқаруға және олардың азыққа енуін азайтуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жем қоспаларында микотоксин сорбенттерін қолдану маңызды аспект болып табылады, өйткені бұл тәуекел деңгейін төмендетуге ықпал етеді. Зертханалық бақылауды күшейту қажеттілігі әсіресе Алматы мен Павлодар қалаларындағы құс фермалары мен құрама жем зауыттарында сезіледі, себебі бұл аймақтарда микотоксиндердің шекті концентрациядан айтарлықтай асып кеткен көрсеткіштері тіркелді. Жемдегі микотоксиндерді бақылау мен азайтуға арналған кешенді тәсіл ғана жеммен қамтамасыз етудің қауіпсіздігін қамтамасыз етіп, жануарлар мен адам денсаулығына төнетін қауіпті азайтады. Әрбір микотоксиннің клиникалық және санитариялық тұрғысынан маңызы мұндай бақылаудың қажеттілігін айқындайды. Афлатоксиндер Халықаралық қатерлі ісік зерттеу агенттігінің (IARC) 1-ші топтағы канцерогендер қатарына жатады және бауыр қатерлі ісігін тудыруы мүмкін. Охратоксин А бүйрекке уытты әсер етіп, канцерогендік қасиеттерге ие. Дезоксиниваленол жануарларда құсу мен салмақ жоғалтуға себеп болады. Т2/НТ2 токсиндері иммундық жүйенің жұмысын әлсіретіп, организмнің қорғаныс қабілетін төмендетеді. Зеараленон айқын эстрогендік әсер көрсетеді, бұл шошқа шаруашылығы үшін әсіресе қауіпті, себебі ол жануарлардың репродуктивтік жүйесіне теріс әсер етуі мүмкін. Фумонисиндер бауыр мен бүйрек ауруларымен байланысты және олар ықтимал канцерогендер ретінде қарастырылады.

Айта кету керек, Randox Mycо 7 әдісі мультиплекстілікті, жоғары сезімталдықты және деректерді автоматтандырылған өңдеуді біріктіреді, бұл оны жем мен дәнді дақылдарды жаппай скрининг жүргізуге өте қолайлы етеді. Алынған нәтижелер зертханалар мен реттеуші органдарға Еуропалық Одақ пен халықаралық стандарттарға сәйкес тиімді мониторингті жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

Қауіптерді басқару кешенді тәсілді қажет етеді, өйткені микотоксиндермен ластану мәселесі тек қана бірқатар шаралар арқылы шешілуі мүмкін. Жемшөп қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін негізгі шаралар агротехника мен шикізатты тасымалдау жүйесін қамтиды. Оған ылғалдылық пен температураны бақылау, жылдам кептіру мен салқындату, ауа өткізбейтін силостарда сақтау және маусымдық әрі аймақтық ерекшеліктерді ескере отырып, партияларды тұрақты тексеру жатады. Микотоксиндердің биожетімділігін төмендету үшін афлатоксиндер, зеараленон (ZEA) және охратоксин А (OTA) қарсы тиімді адсорбенттер мен биологиялық препараттар қолданылады. Ко-контаминация жағдайында сорбенттер мен биотрансформациялаушы агенттердің қосарланған схемалары қажет.

Қорытынды. Зерттеудің кең ауқымы іріктеменің өкілдігін қамтамасыз етіп, азық және азық қоспаларындағы микотоксиндердің жағдайын ұлттық және аймақтық деңгейде бағалауға мүмкіндік берді. Зерттеу жемде микотоксиндердің жүйелі түрде бар екендігін анықтады. Құрама жемдер мен түйіршіктелген өнімдер, әсіресе бірнеше ірі нысандарда өндірілгендері, ең үлкен қауіп төндіреді. Бұл үлгілерде охратоксин А, зеараленон және дезоксиниваленолдың маңызды деңгейлері анықталды. Бірқатар үлгілерде охратоксин деңгейі стандарттан ондаған есе асып, 20 ppb-ден жоғары болды, ал рұқсат етілген шегі 0,4 ppb ғана еді. Дезоксиниваленол ең көп таралған токсин болып шықты: әрбір екінші үлгіде оның концентрациясы 30-дан 90 ppb аралығында болды, ал кейбір жағдайларда 200 ppb-ден асып кетті. Зеараленон да айтарлықтай мөлшерде анықталды, 5 ppb стандартымен салыстырғанда 39 ppb-ден асқан.

Канцерогенді В1 және G1 афлатоксиндері бірнеше үлгілерде табылды; Павлодар облысынан алынған арпа қалдықтарында AFB1 деңгейі рұқсат етілген шектен жиырма еседен астам асып түсті. Жем қоспалары – ашытқы, ет және сүйек ұны, ұн – аз ластанған, бірақ осы үлгілерде де охратоксин мен афлатоксиндер анықталды, бұл мәселенің жүйелік сипатын растайды. Тіпті бақылау үлгілерінде дезоксиниваленол мен фумонизиндердің айтарлықтай деңгейлері байқалды, бұл қауіптің ауқымын көрсетеді.

Жалпы алғанда, алынған деректер Қазақстандағы азық және азық қоспаларының қауіпсіздігіне қатысты қолайсыз жағдайды көрсетеді. Ең қауіпті микотоксиндер ретінде дезоксиниваленол, зеараленон, охратоксин А және афлатоксиндер айқын көрінеді. Кейбір жағдайларда олардың деңгейі рұқсат етілген шектен ондаған есе асып кеткен. Бұл жағдай кешенді шараларды қажет етеді. Микотоксиндермен күресу үшін астықпен қамтамасыз етуді бақылауды күшейту, құрама жемдерге адсорбенттер мен детоксификаторларды енгізу және шикізат пен дайын өнімдерді бақылаудың жүйесін құру қажет. Импортты бақылау, әсіресе қауіпті аймақтардан келетін өнімдерге қатысты, аса маңызды басымдық болып қала береді. Сонымен қатар, фермерлер мен өндірушілермен белсенді өзара әрекет ету, оларды микотоксикоздың созылмалы қаупі, оның жануарлар денсаулығына әсері және мал шаруашылығы өнімдерінің қауіпсіздігі туралы хабардар ету қажет. Тек мониторингті, білім беруді және технологиялық жаңалықтарды біріктіретін жүйелі тәсіл ғана қауіптерді азайтып, жемнің, демек, тұтынушылар үшін соңғы өнімнің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Қаржыландыру туралы ақпарат (бар болса). Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім Министрлігінің Ғылыми комитеті қаржыландырды (грант № br21882327).

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. **Mahmoud Y.A., Elkaliny N.E., Darwish O.A., Ashraf Y., Ebrahim R.A., Das S.P., Yahya G. Comprehensive review for aflatoxin detoxification with special attention to cold plasma treatment**. [Text] /Mahmoud Y.A., Elkaliny N.E., Darwish O.A., Ashraf Y., Ebrahim R.A., Das S.P., Yahya G.//Mycotoxin Res. – 2025 May; – 41(2): – P. 277–300.

2. **Malir F., Ostry V., Pfohl-Leszkowicz A. Ochratoxin A: 50 years of research** [Text] /Malir F., Ostry V., Pfohl-Leszkowicz A //Toxins *(Basel)*. – 2016. – Vol. 8(7), art. 191. DOI: 10.3390/toxins8070191.

3. **Sobrova P., Adam V., Vasatkova A., Beklova M., Zeman L., Kizek R. Deoxynivalenol and its toxicity**. [Text] /Sobrova P., Adam V., Vasatkova A., Beklova M., Zeman L., Kizek R. //Interdiscip Toxicol. – 2010 Sep;3(3). – P 94–99.

4. **Han X., Huangfu B., Xu T., Xu W., Asakiya C., Huang K., He X. Research Progress of Safety of Zearalenone: A Review**. [Text] /Han X, Huangfu B, Xu T, Xu W, Asakiya C, Huang K, He X. // Toxins (Basel). – 2022 Jun 2; – 14(6). – P. 386.

5. **Anumudu C.K., Ekwueme C.T., Uhegwu C.C. et al. A review of the mycotoxin family of fumonisins, their biosynthesis, metabolism, methods of detection and effects on humans and animals**. [Text] /Anumudu C.K., Okeke E.S., Ogbuagu O.E.//. Int. J. Mol. Sci. – 2025. – Vol. 26. – 184 c.

6. **Meneely J., Greer B., Kolawole O., Elliott C**. **T-2 and HT-2 Toxins: Toxicity, Occurrence and Analysis: A Review.** [Text] /Meneely J, Greer B, Kolawole O, Elliott C// -Toxins (Basel). – 2023 Jul 29;15(8): – P. 481.

7. **Bennett J. W., Klich M. Mycotoxins** [Text] /Bennett, J. W.; Klich, M// -Clinical Microbiology Reviews. – 2003. – vol. 16, – P. 497–516.

8. **Awuchi C.G., Ondari E.N., Ogbonna C.U., Upadhyay A.K., Baran K., Okpala C.R. Korzeniowska M., Guiné R.F. Mycotoxins Affecting Animals, Foods, Humans, and Plants: Types, Occurrence, Toxicities, Action Mechanisms, Prevention, and Detoxification Strategies–A Revisit**. [Text] /Awuchi C.G., Ondari E.N., Ogbonna C.U., Upadhyay A.K., Baran K. // – Foods. – 2021, – vol. 10(6), – P. 1279.

9. **Goda A., Shi J., Liu X. Global health and economic impacts of mycotoxins: a comprehensive review**. [Text] /Goda A. A., El-Kady A. A., Salem M. M., Ibrahim S. M. //– Environmental Sciences Europe, – 2025. – Vol. 37. – P. 122.

10. **Li K., Cai H., Luo B., Duan S., Yang J., Zhang N., He Y., Wu A., Liu H. Recent Progress of Mycotoxin in Various Food Products – Human Exposure and Health Risk Assessment** [Text] /Li, K.; Cai, H., Luo, B., Duan, S.// -Foods. – 2025. – Vol. 14(5). – P. 865.

11. **Попов А.Н., Попова Е.В., Дьячкова Е.В. Ауыл шаруашылығы жануарларының микотоксикозы: себептері, салдары және алдын алу шаралары** [Мәтін] /Попов А.Н., Попова Е.В., Дьячкова Е.В. // -Вет., зоотех. және биотех., – 2018. – № 3. – С. 16–31. (In Russian).

12. **Табанюхов И.В., Мирошников П.Н., Скрябин В.А., Жучаев К.В. Пестицидтер мен микотоксиндер тамақ қауіпсіздігіне қауіп төндіретін көздер ретінде** [Мәтін] /Табанюхов И.В., Мирошников П.Н., Скрябин В.А., Жучаев К.В.// – Инновация және азық-түлік қауіпсіздігі, – 2020. – № 2. – С. 28–34.

13. **Кудина А.В., Дәндік пен оның өңдеу өнімдеріндегі микотоксиндерді анықтаудың заманауи әдістері. Ауыл шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеу және сапасын басқару: VI Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның мақалалар жинағы.** [Мәтін] /Кудина А.В. //. – 2023. – № 4. – С. 194–195.

14. **Battilani P., Palumbo R., Giorni P., Dall'Asta C., Dellafiora L., Gkrillas A., Toscano P. et al. Mycotoxin mixtures in food and feed: holistic, innovative, flexible risk assessment modelling approach.** // EFSA Supporting Publications. – 2020. – Vol. 17.

15. **Alassane-Kpembi I., Pinton P., Oswald I.P. Effects of Mycotoxins on the Intestine** [Text] /Alassane-Kpembi I., Pinton P., Oswald I.P// -Toxins. – 2019. – Vol. 11, No. 3. – P. 159.

16. **Agriopoulou S, Stamatelopoulou E, Varzakas T. Advances in Analysis and Detection of Major Mycotoxins in Foods**. [Text] /Agriopoulou S, Stamatelopoulou E, Varzakas T.// -Foods. – 2020. – vol.9(4). – P. 518.

17. **Corrêa A.N.R., Ferreira C.D. Mycotoxins in Grains and Cereals Intended for Human Consumption: Brazilian Legislation, Occurrence Above Maximum Levels and Co-Occurrence.** [Text] /Corrêa A., Dietrich Ferreira C. // Food Reviews International. – 2023. – Vol. 39(8). – pp. 5920–5933.

18. **Zentai A, Jóźwiak Á, Süth M, Farkas Z. Carry-Over of Aflatoxin B1 from Feed to Cow Milk-A Review.** [Text] /Zentai A, Jóźwiak Á, Süth M// -Toxins (Basel). -2023. -vol. 15(3) – P.195.

19. **Pisoschi, A. M., Iordache, F., Stanca, L., Mitranescu, E., Bader Stoica, L., Geicu, O. I., Bilteanu, L., & Serban, A. I. Biosensors for Food Mycotoxin Determination: A Comparative and Critical Review**. [Text] /Pisoschi, A.M., Iordache, F., Stanca, L.// -Chemosensors, – 2024. – 12(6), – P.92.

REFERENCES:

1. **Mahmoud Y.A., Elkaliny N.E.. Darwish O.A., et al. Comprehensive review for aflatoxin detoxification with special attention to cold plasma treatment**. *Journal of Mycotoxin Res*., 2025, vol. 41(2), pp. 277–300.

2. **Malir F., Ostry V., Pfohl-Leszkowicz A., Malir J., Toman J. Ochratoxin A: 50 years of research.** *Toxins,* 2016, vol. 8(7), art. 191. DOI: 10.3390/toxins8070191.

3. **Sobrova P., Adam V., Vasatkova A., Beklova M., Zeman L., Kizek R. Deoxynivalenol and its toxicity.** *Interdiscip Toxicol.*, 2010, vol. 3, pp. 94–99.

4. **Han X., Huangfu B., Xu T., et al. Research Progress of Safety of Zearalenone: A Review**. *Toxins,* 2022, vol. 14(6), art. 386.

5. **Anumudu C.K., Ekwueme C.T., Uhegwu C.C. et al. A review of the mycotoxin family of fumonisins, their biosynthesis, metabolism, methods of detection and effects on humans and animals**. *Int. J. Mol. Sci* ., 2025, vol. 26, art. 184.

6. **Meneely J., Greer B., Kolawole O., Elliott C.**. **T-2 and HT-2 Toxins: Toxicity, Occurrence and Analysis: A Review.** *Toxins,* 2023, vol. 15(8), art. 481.

7. **Bennett J. W., Klich M., Mycotoxins.** *Clinical Microbiology Reviews*. 2003, vol. 16, pp. 497–516.

8. **Awuchi C.G., Ondari E.N., Ogbonna C.U., et al. Mycotoxins Affecting Animals, Foods, Humans, and Plants: Types, Occurrence, Toxicities, Action Mechanisms, Prevention, and Detoxification Strategies–A Revisit***. Foods,* 2021, vol.10(6), art. 1279.

9. **Goda A., Shi J., Liu X. Global health and economic impacts of mycotoxins: a comprehensive review.** *Environmental Sciences Europe*, 2025, vol. 37, art. 122.

10. **Li K., Cai H., Luo B., et al. Recent Progress of Mycotoxin in Various Food Products – Human Exposure and Health Risk Assessment.** *Foods,* 2025, vol. 14(5), art. 865.

11. **Popov A.N., Popova E.V., D'yachkova E.V. Mikotoksikoz sel'skohozyajstvenny'h zhivotny'h: prichiny', posledstviya i mery' profilaktiki** [Mycotoxicosis in farm animals: causes, consequences, and preventive measures]. *Vet., zooteh. zhane bioteh***.,** 2018, vol. 3, pp. 16–31. (In Russian)

12. **Tabanyuhov I.V., Miroshnikov P.N., Skryabin V.A., Zhuchaev K.V. Pesticidy' i mikotoksiny' kak istochniki ugrozy' bezopasnosti pishchevy'h produktov** [Pesticides and mycotoxins as sources of risk to food safety]. *Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost',* 2020, no 2, pp. 28–34. (In Russian)

13. **Kudina A. V., Sovremenny'e metody' opredeleniya mikotoksinov v zerne i produktah ego pererabotki** [Modern methods for detecting mycotoxins in grain and grain-derived products]. *Pererabotka i upravlenie kachestvom sel'skohozyajstvennoj produkcii: sbornik statej VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii***,** 2023, vol. 4, pp. 194–195. (In Russian)

14. **Battilani P., Palumbo R., Giorni P., et al. Mycotoxin mixtures in food and feed: holistic, innovative, flexible risk assessment modelling approach.** *EFSA Supporting Publications,* 2020, vol. 17, iss. 1, 161 p.

15. **Alassane-Kpembi I., Pinton P., Oswald I.P. Effects of mycotoxins on the intestine.** *Toxins,* 2019, vol. 11, no. 3, art. 159.

16. **Agriopoulou S., Stamatelopoulou E., Varzakas T. Advances in analysis and detection of major mycotoxins in foods**. *Foods,* 2020, vol. 9(4), art. 518.

17. **Corrêa A.N.R., Ferreira C.D. Mycotoxins in grains and cereals intended for human consumption: brazilian legislation, occurrence above maximum levels and co-occurrence.** *Food Reviews International,* 2022, vol. 39(8), pp. 5920–5933.

18. **Zentai A., Jóźwiak Á., Süth M., Farkas Z. Carry-over of Aflatoxin B1 from feed to cow milk-a review.** *Toxins,* 2023, vol. 15(3), art. 195.

19. **Pisoschi A.M., Iordache F., Stanca L., et al. Biosensors for Food Mycotoxin Determination: A Comparative and Critical Review.** *Chemosensors*, 2024., vol. 12(6), art. 92.

Жіберілген күні: 2026 жылғы 9 сәуір. **Қабылданған күні:** 2026 жылғы 1 шілде.
Жарияланған күні: 2026 жылғы 30 қыркүйек.

Авторлар туралы мәліметтер:

Ақанова Жаннара Жульдасовна – ветеринария ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Қосшы қ., 4 үй, тел.: 87014212103, e-mail: azhzh80@mail.ru.

Есенеева Салтанат Советқызы – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Е882 көш, 5 үй, 35 пәтер тел.: 87788406387, e-mail: s.eseneeva@kazatu.edu.kz.*

Бегенова Айнагүл Байболсынқызы – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ 62 тел.: 87751611747, e-mail: a.begenova@kazatu.edu.kz.

Кузеубаева Анар Сабырбаевна – PhD доктор, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс даңғ 62 тел.: 87028529254, e-mail: a.kuzeubaeva@kazatu.edu.kz.

Аканова Жаннара Жульдасовна – кандидат ветеринарных наук, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Косшы, дом 4, тел.: 87014212103, e-mail: azhzh80@mail.ru.

Есенеева Салтанат Советовна – кандидат ветеринарных наук, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Е882 дом 5, кв. 35, тел.: 87788406387, e-mail: s.eseneeva@kazatu.edu.kz.*

Бегенова Айнагуль Байбулсыновна – кандидат ветеринарных наук, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Победы 62, тел.: 87751611747, e-mail: a.begenova@kazatu.edu.kz.

Кузеубаева Анар Сабырбаевна – PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Победы 62, тел.: 87028529254, e-mail: a.kuzeubaeva@kazatu.edu.kz.

Akanova Zhannara Zhuldassovna – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, Kosshy, bld. 4, tel.: 87014212103, e-mail: azhzh80@mail.ru.

Yesseneyeva Saltanat Sovetovna – Candidate of Veterinary Sciences, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, E882 Str., bld. 5, apt. 35, tel.: 87788406387, e-mail: s.eseneeva@kazatu.edu.kz.*

Begenova Ainagul Baibulsynovna – Candidate of Veterinary Sciences, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan. 010000, Astana, 62 Pobeda Ave., tel.: 87751611747, e-mail: a.begenova@kazatu.edu.kz.

Kuzeubayeva Anar Sabyrbayevna – PhD, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Pobeda Ave., tel.: 87028529254, e-mail: a.kuzeubaeva@kazatu.edu.kz.

МРНТИ 68.41.53; 34.27.29
УДК 636.09; 578.2:57.08
https://doi.org/10.52269/SEPT2631017

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИГЕНОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РИНОПНЕВМОНИИ ЛОШАДЕЙ

Алексеенкова С.В. – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, г. Москва, Российская Федерация.*

Куттымуратова К.Б. – магистр ветеринарии, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Республика Казахстан.

Сансызбай А.Р. – доктор ветеринарных наук, профессор кафедры биологической безопасности, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Республика Казахстан.

Нусупова С.Т. – кандидат ветеринарных наук, ассоциированный профессор кафедры фармакологии и патологии животных, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Республика Казахстан.

Исследованы способы получения антигенов для диагностики ринопневмонии – вирусного аборта лошадей методом иммуноферментного анализа, основанные на ступенчатом центрифугировании и осаждении полиэтиленгликолем. В качестве материала использовали вакцинный штамм СВ/69 вируса герпеса лошадей 1-го типа, культивированный в культуре клеток СПЭВ. Инфекционный титр вируса составил 6,5 lg $ТЦД_{50}$/мл. Установлено, что наиболее очищенный антиген получают из свободных вирионов методом ступенчатого центрифугирования с последующей очисткой в градиенте сахарозы. Однако данный способ требует значительных временных и материальных затрат, использования специализированного оборудования и характеризуется низким выходом: из 105 мл исходной вируссодержащей суспензии получено 400 мкл антигена. Антиген, выделенный из клеточно-связанной фракции вируса, имел более высокий выход – 650 мкл, но содержал больше клеточных примесей. Метод осаждения полиэтиленгликолем технологически проще и обеспечивает больший выход антигена – 1,5 мл из 125 мл суспензии, однако полученный препарат оказался непригодным для ИФА, несмотря на эффективность в реакции торможения гемагглютинации. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости выбора метода

получения антигена с учетом предполагаемого диагностического применения и могут быть использованы при разработке методических рекомендаций по получению антигенов ВГЛ-1 для диагностики ринопневмонии лошадей.

Ключевые слова: *ринопневмония, герпесвирус лошадей, ВГЛ-1, антигены, серологические реакции, ИФА, центрифугирование.*

ЖЫЛҚЫ РИНОПНЕВМОНИЯСЫН ДИАГНОСТИКАЛАУҒА АРНАЛҒАН АНТИГЕНДЕРДІ АЛУ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Алексеенкова С.В. – биология ғылымдарының кандидаты, РҒА ФМБҒМ ФҒО ВИЭВ жетекші ғылыми қызметкері, Мәскеу қ., Ресей Федерациясы.*

Құттымұратова К.Б. – ветеринария магистрі, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті», Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Сансызбай А.Р. – ветеринария ғылымдарының докторы, биологиялық қауіпсіздік кафедрасының профессоры, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті», Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Нусупова С.Т. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, жануарлар фармакологиясы және патологиясы кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті», Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Иммуноферменттік талдау әдісі арқылы жылқы ринопневмониясын, яғни жылқылардың вирустық іш тастауын диагностикалауға арналған антигендерді алу тәсілдері зерттелді. Зерттеу сатылы центрифугалау және полиэтиленгликольмен тұндыру әдістеріне негізделді. Материал ретінде СПЭВ жасуша дақылында өсірілген 1-типті жылқы герпесвирусының СВ/69 вакциналық штаммы пайдаланылды. Вирустың инфекциялық титрі 6,5 lg $ТЦД_{50}$/мл құрады. Ең жоғары тазартылған антиген бос вириондардан сатылы центрифугалау және сахароза тығыздық градиентінде қосымша тазарту арқылы алынатыны анықталды. Алайда бұл әдіс көп уақытты, материалдық шығындарды және арнайы жабдықты қажет етеді, сондай-ақ шығымы төмен: 105 мл бастапқы вирусқұрамды суспензиядан 400 мкл антиген алынды. Вирустың жасушамен байланысқан фракциясынан алынған антигеннің шығымы жоғары болды – 650 мкл, бірақ оның құрамында жасушалық қоспалар көбірек кездесті. Полиэтиленгликольмен тұндыру әдісі технологиялық тұрғыдан қарапайым және антигеннің жоғары шығымын қамтамасыз етті – 125 мл суспензиядан 1,5 мл. Дегенмен алынған препарат ИФА үшін жарамсыз болып шықты, бірақ гемагглютинацияны тежеу реакциясында тиімділік көрсетті. Алынған нәтижелер ВГЛ-1 антигенін алу әдісін оның диагностикалық қолданылу мақсатына сәйкес таңдау қажеттігін көрсетеді және жылқы ринопневмониясын диагностикалау үшін ВГЛ-1 антигендерін алу жөніндегі әдістемелік ұсынымдарды әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: *ринопневмония, жылқы герпесвирусы, ВГЛ-1, антигендер, серологиялық реакциялар, ИФА, центрифугалау.*

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR OBTAINING ANTIGENS FOR THE DIAGNOSIS OF EQUINE RHINOPNEUMONITIS

Alekseyenkova S.V. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center – All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation.*

Kuttymuratova K.B. – Master of Veterinary Medicine, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Sansyzbay A.R. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of biological safety, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Nussupova S.T. – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of pharmacology and animal pathology, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Methods for obtaining antigens for the diagnosis of equine rhinopneumonitis, also known as viral abortion of horses, using enzyme-linked immunosorbent assay were studied. The methods were based on stepwise centrifugation and precipitation with polyethylene glycol. The vaccine strain CB/69 of equine herpesvirus type 1, cultivated in SPEV cell culture, was used as the source material.

The infectious titer of the virus was 6.5 lg TCD_{50}/ml. It was found that the most purified antigen was obtained from free virions by stepwise centrifugation followed by purification in a sucrose density gradient.

However, this method requires considerable time, material resources, and specialized equipment, and is characterized by a low yield: 400 µl of antigen was obtained from 105 ml of the initial virus-containing suspension. The antigen isolated from the cell-associated viral fraction had a higher yield of 650 µl but contained more cellular impurities. Polyethylene glycol precipitation was technologically simpler and provided a higher antigen yield of 1.5 ml from 125 ml of suspension; however, the resulting preparation was unsuitable

for ELISA, despite being effective in the hemagglutination inhibition test. The results indicate that the method for obtaining EHV-1 antigen should be selected depending on the intended diagnostic application. These findings may be used in the development of methodological recommendations for obtaining EHV-1 antigens for the diagnosis of equine rhinopneumonitis.

Key words: *rhinopneumonitis, equine herpesvirus, EHV-1, antigens, serological reactions, ELISA, centrifugation.*

Введение. Коневодство является важным направлением аграрного сектора, имеющим экономическое, социальное и селекционное значение. В последние годы сохраняется интерес к развитию племенного коневодства, спортивного направления, конного туризма, иппотерапии и производства кумыса [1, с. 26]. В связи с этим особую значимость приобретает ветеринарное обеспечение отрасли, включая своевременную диагностику инфекционных болезней лошадей.

Одной из наиболее распространенных вирусных инфекций лошадей является ринопневмония, или вирусный аборт кобыл, вызываемая вирусом герпеса лошадей 1-го типа (ВГЛ-1). Заболевание регистрируется во многих странах мира, включая США, Великобританию, Францию, Германию, Японию, Австралию, Российскую Федерацию и страны Центральной Азии. По данным опубликованных исследований, серопозитивность лошадей к ВГЛ-1 в отдельных регионах может варьировать от 20 до 80% в зависимости от возраста животных, условий содержания, плотности поголовья и уровня профилактических мероприятий [2, с. 14; 3, с. 5]. Наиболее высокий риск распространения инфекции отмечается в хозяйствах с интенсивным перемещением животных, на конноспортивных мероприятиях, племенных фермах и в местах группового содержания лошадей.

В Российской Федерации герпесвирусные инфекции лошадей также сохраняют актуальность. По данным отечественных исследователей, на территории страны выявляются как классические, так и гипервирулентные варианты ВГЛ-1, в том числе штаммы генотипа А2254, ассоциированные с тяжелыми клиническими проявлениями и абортами у кобыл [2, с. 15; 3, с. 4]. При этом эпизоотическая ситуация может различаться по регионам, что требует регулярного лабораторного мониторинга и совершенствования диагностических методов.

Источником инфекции являются больные животные, вирусоносители, а также латентно инфицированные лошади, у которых вирус может длительно сохраняться в организме и реактивироваться при стрессовых воздействиях, транспортировке, изменении условий содержания, иммуносупрессии или жеребости. Основными путями передачи ВГЛ-1 являются аэрогенный путь, прямой контакт с инфицированными животными, а также передача через выделения из дыхательных путей, абортированные плоды, плодные оболочки, загрязненные предметы ухода, инвентарь и транспорт. Заболевание может проявляться респираторной формой, абортами, рождением нежизнеспособного молодняка и, в отдельных случаях, неврологическими расстройствами.

Профилактика ринопневмонии лошадей включает карантинирование вновь поступающих животных, изоляцию больных и подозрительных по заболеванию лошадей, дезинфекцию помещений и инвентаря, контроль перемещения животных, вакцинацию, а также регулярный лабораторный мониторинг. Однако эффективность противоэпизоотических мероприятий во многом зависит от своевременного выявления инфицированных животных и наличия надежных диагностических препаратов.

Быстрая и точная лабораторная диагностика является необходимым условием для организации мер профилактики и борьбы с ринопневмонией лошадей. Среди методов лабораторной диагностики широко применяется непрямой твердофазный иммуноферментный анализ (ИФА), позволяющий выявлять специфические антитела и оценивать иммунологический статус животных [4, с. 91]. Для постановки ИФА необходимо использовать качественные антигены возбудителя, обладающие достаточной специфичностью, антигенной активностью и минимальным содержанием посторонних примесей.

Для получения диагностических антигенов ВГЛ-1 могут быть использованы различные методы: разрушение вируссодержащих клеток путем замораживания-оттаивания, обработка ультразвуком, концентрирование вируса с применением полиэтиленгликоля (ПЭГ), а также ступенчатое центрифугирование и ультрацентрифугирование в градиенте плотности сахарозы [5, с. 15; 6, p. 52; 7, с. 130]. Антиген можно выделять как из клеточно-связанной фракции вируса, так и из свободных вирионов. При этом выбор метода получения антигена должен определяться его дальнейшим использованием в конкретной серологической реакции.

Цель исследования – провести сравнительный анализ методов получения антигенов ВГЛ-1 и определить оптимальный способ их получения для диагностики ринопневмонии лошадей методом ИФА.

Задачи. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести культивирование вакцинного штамма СВ/69 ВГЛ-1 в культуре клеток СПЭВ.
2. Определить инфекционный титр вируса в культуре клеток.
3. Получить антигены ВГЛ-1 методами ступенчатого центрифугирования и осаждения полиэтиленгликолем.
4. Оценить выход полученных антигенных препаратов.
5. Изучить активность антигенов в ИФА, реакции гемагглютинации (РГА) и реакции торможения гемагглютинации (РТГА).

6. Сравнить эффективность исследованных методов с учетом дальнейшего диагностического применения антигенов.

Материалы и методы. Исследования проводились в лабораторных условиях ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН в период 2023-2024 гг. Основной этап культивирования вируса, получения и оценки антигенов был выполнен в осенне-зимний период, что обеспечивало стабильные условия хранения биологического материала и проведения лабораторных процедур.

В работе использовали производственный вакцинный штамм СВ/69 вируса ринопневмонии лошадей – вируса герпеса лошадей 1-го типа (ВГЛ-1), а также культуру клеток СПЭВ – перевиваемую культуру клеток почки эмбриона свиньи. Штамм вируса и культура клеток были предоставлены лабораторией клеточной биотехнологии ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН.

Клеточную культуру выращивали в среде Игла МЕМ с солями Хенкса с добавлением 2 мМ глутамина, 5% сыворотки крови крупного рогатого скота, пенициллина в концентрации 100 ЕД/мл и стрептомицина в концентрации 100 мкг/мл. Для заражения использовали молодые клетки в первый день формирования полного монослоя.

После заражения культуральные флаконы ежедневно исследовали под микроскопом IM-3 Series, Optica, Италия, на наличие цитопатического действия, сравнивая инфицированные культуры клеток с контрольными. Для визуализации цитопатического эффекта готовили окрашенные препараты культуры клеток СПЭВ, зараженной ВГЛ-1. Покровные стекла с культурой клеток фиксировали смесью 96% этилового спирта и хлороформа в соотношении 1:1 и окрашивали азур-эозином по стандартному протоколу.

Титр инфекционной активности вируса определяли по $ТЦД_{50}$/мл на культуре клеток СПЭВ в 96-луночных микропланшетах. Результаты оценивали по 50% цитопатическому действию через 4 суток методом Рида и Менча [8, p. 493].

Накопленный в культуре клеток вирус общим объемом 230 мл разделили на две части: 105 мл использовали для получения антигена методом ступенчатого центрифугирования, 125 мл – для получения антигена методом осаждения полиэтиленгликолем.

Ступенчатое центрифугирование выполняли в следующей последовательности: осаждение клеточно-связанной фракции вируса центрифугированием при 10 000 об/мин в течение 15 минут при 5 °С на центрифуге Thermo Scientific Sorvall Evolution RC; обработка клеточного осадка ультразвуком с использованием гомогенизатора Sonics Ultra-cell для разрушения многоядерных клеток; контроль разрушения клеток путем приготовления цитологического мазка из суспензии с последующей фиксацией, окрашиванием и микроскопией; центрифугирование обработанной ультразвуком суспензии при 8 000 об/мин в течение 2 минут на настольной центрифуге СМ-50, ELMI; концентрирование свободной фракции вируса из надосадочной жидкости центрифугированием при 25 000 об/мин в течение 50 минут; очистка антигена ультрацентрифугированием в градиенте плотности сахарозы 30% и 65% на ультрацентрифуге Beckman L7.

В результате были получены два образца антигена: Аг1 – антиген из клеточно-связанной фракции вируса; Аг2 – антиген из свободных вирионов.

Осаждение полиэтиленгликолем проводили следующим образом: в вируссодержащую суспензию объемом 125 мл вносили кристаллический ПЭГ-6000 из расчета 5 г на 100 мл и сульфат аммония из расчета 345 г на 1000 мл. Раствор выдерживали в холодильнике при 4 °С в течение 16 часов. После разделения суспензии на три слоя отбирали средний слой, содержащий белок, и подвергали трехкратному центрифугированию при 4 000 об/мин по 20 минут с последовательным удалением надосадочной жидкости. К очищенному осадку добавляли 2% раствор Triton X-100 и инкубировали при 37 °С в течение 1 часа.

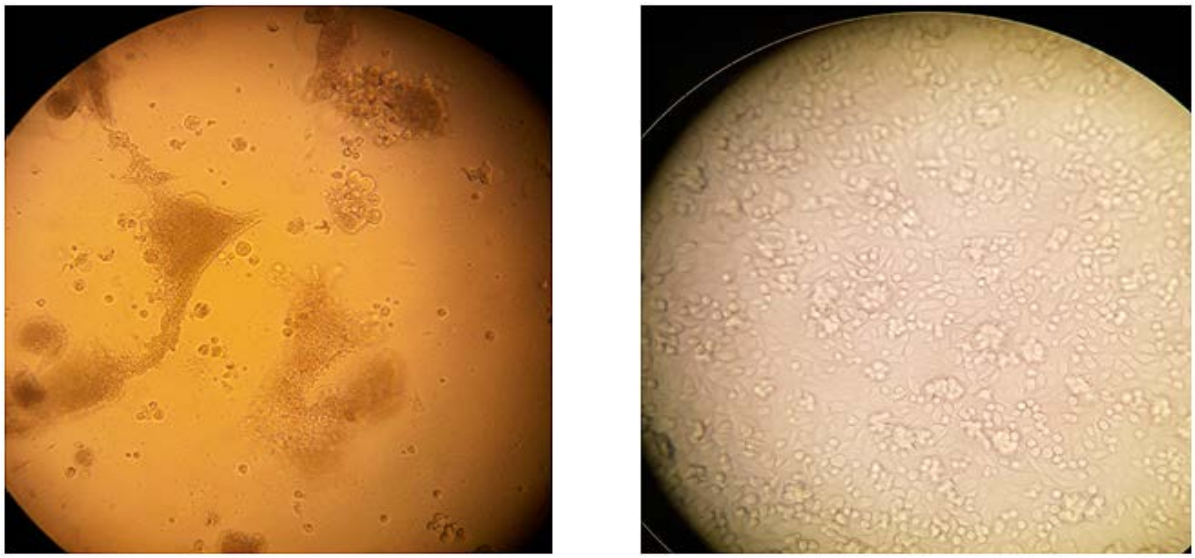
Полученные антигены тестировали в реакции гемагглютинации (РГА) с 1% суспензией эритроцитов лошади и методом ИФА.

Для определения рабочего разведения антигена использовали непрямой вариант твердофазного ИФА с шахматным титрованием антигенов и положительной сыворотки, полученной от абортировавшей кобылы. Антигены в начальном разведении 1:100 вносили в 96-луночные полистироловые планшеты и инкубировали в течение 24 часов при 4 °С. После блокирования неспецифического связывания и отмывки вносили сыворотки в начальном разведении 1:200 и инкубировали 1,5 часа при 37 °С. Затем добавляли иммунопероксидазный конъюгат, специфичный к IgG лошади. После инкубации и отмывки вносили субстрат – 3,3’,5,5’-тетраметилбензидин. Через 30 минут реакцию останавливали 70% серной кислотой.

Результаты учитывали на спектрофотометре с вертикальным лучом StatFax 4300 ChroMate при длине волны 450 нм. Также проводили РТГА с полученными антигенами и стандартными сыворотками по общепринятой методике.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программ Microsoft Office и Matlab.

Результаты. При культивировании ВГЛ-1, штамм СВ/69, в культуре клеток СПЭВ через 48 часов наблюдали выраженный цитопатический эффект, достигавший 90% поражения монослоя. Цитопатическое действие характеризовалось образованием многоядерных гигантских клеток и деструкцией клеточного монослоя.



а) *б)*

Рисунок 1 – Культура клеток СПЭВ. Увеличение ×250 а) через 48 часов после заражения ВГЛ-1; б) контрольная культура

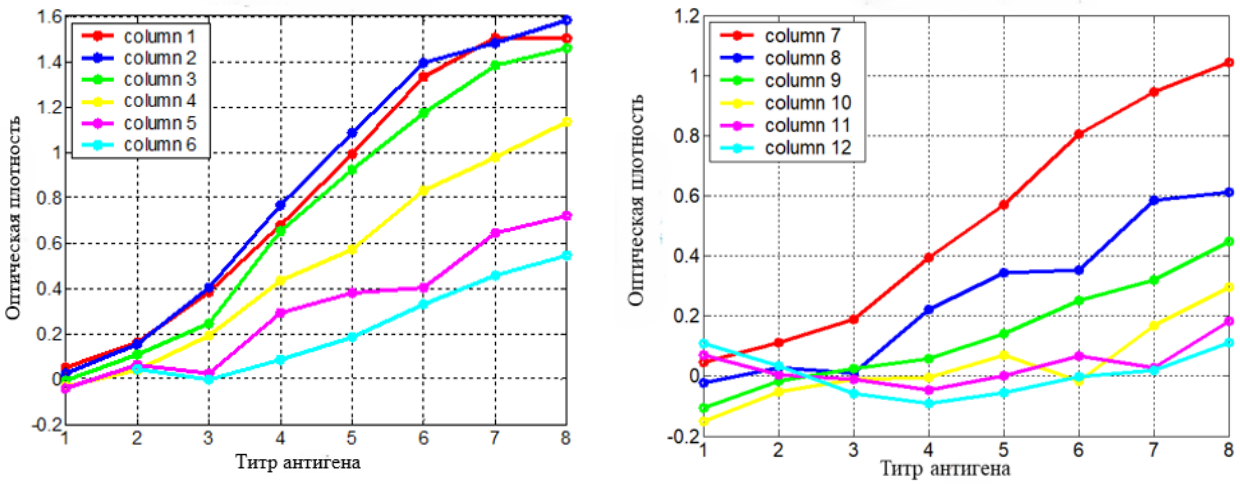
Инфекционный титр вируса составил 6,5 lg $ТЦД_{50}$/мл, что соответствует данным других исследователей для данного штамма [9, с. 6].

При использовании метода ступенчатого центрифугирования из 105 мл вируссодержащей суспензии было получено около 650 мкл антигена из клеточно-связанной фракции – Аг1, и 400 мкл антигена из свободных вирионов – Аг2. Методом осаждения полиэтиленгликолем из 125 мл вируссодержащей суспензии получено 1,5 мл антигена.

Визуально антигены, полученные разными методами, отличались. Аг1 имел бежевый оттенок, Аг2 был прозрачным с легкой опалесценцией, а антиген, полученный методом осаждения полиэтиленгликолем, имел желтоватый цвет.

В РГА антиген, полученный методом осаждения полиэтиленгликолем, показал титр 1:96, что свидетельствует о его выраженной гемагглютинирующей активности.

При проведении ИФА была выявлена четкая зависимость оптической плотности от разведения антигенов Аг1 и Аг2, полученных методом ступенчатого центрифугирования.

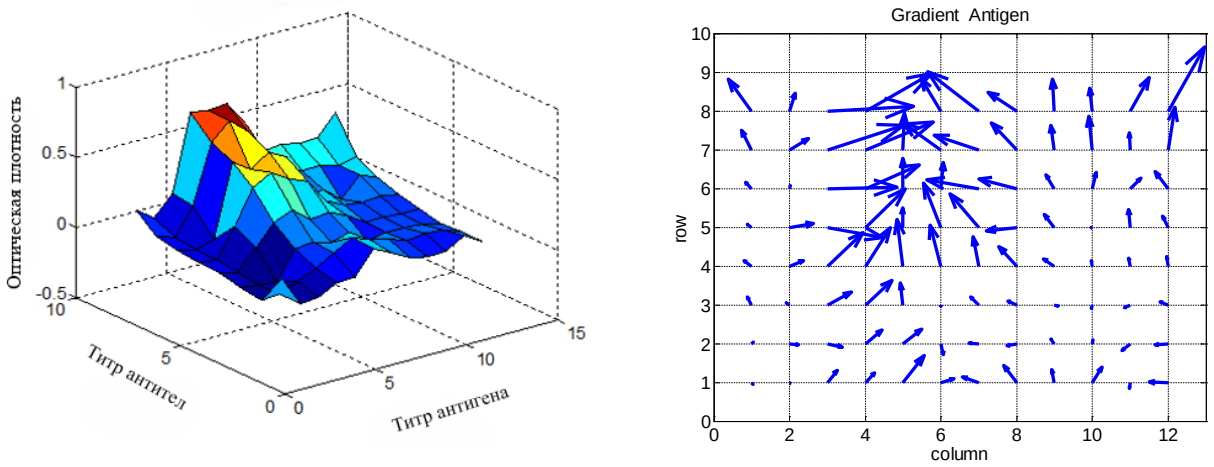


а) *б)*

Рисунок 2 – Зависимость оптической плотности в ИФА от разведения антигенов, полученных методом ступенчатого центрифугирования
а) Аг1 – антиген из клеточно-связанной фракции; б) Аг2 – антиген из свободных вирионов

Экспериментально установленное рабочее разведение антигена составило 1:800 для Аг1 и 1:200 для Аг2, что отражает различия в их антигенной активности. Более высокое рабочее разведение Аг1 может быть обусловлено большим содержанием антигенных детерминант вследствие разрушения инфицированных клеток и выхода клеточно-связанных вирусных компонентов.

Антиген, полученный методом осаждения полиэтиленгликолем, не демонстрировал градиента оптической плотности в ИФА, что указывает на его непригодность для данной реакции.



а) *б)*

Рисунок 3 – Трехмерное изображение оптической плотности результатов ИФА с антигеном, полученным методом осаждения полиэтиленгликолем

Обсуждение. Вероятной причиной непригодности ПЭГ-антигена для ИФА является наличие остаточных количеств полиэтиленгликоля, влияющих на адсорбцию антигена к твердой фазе планшета. Кроме того, возможное присутствие сопутствующих белковых и клеточных компонентов может повышать фоновые значения и снижать специфичность реакции.

В то же время антиген, полученный с использованием полиэтиленгликоля, показал хорошие результаты в РТГА. Титр антител в положительных сыворотках достигал 1:128, что подтверждает сохранение антигенных свойств препарата и возможность его применения в данной реакции.

Анализ результатов показал, что антиген Аг2, полученный из свободных вирионов методом ступенчатого центрифугирования с последующей очисткой в градиенте сахарозы, характеризуется наибольшей чистотой. Это подтверждается более плавным изменением оптической плотности в ИФА и меньшими фоновыми значениями. Однако выход такого антигена был относительно невелик – 400 мкл из 105 мл исходной суспензии. Кроме того, процедура его получения технически сложна и требует дорогостоящего оборудования.

Антиген Аг1, полученный из клеточно-связанной фракции вируса, имел более высокий выход – 650 мкл, но содержал больше клеточных примесей, что потенциально может снижать специфичность реакции. Тем не менее рабочее разведение данного антигена в ИФА составило 1:800, что выше, чем у Аг2, для которого рабочее разведение составило 1:200.

Метод осаждения полиэтиленгликолем оказался технологически более простым, не требовал ультрацентрифугирования и обеспечивал наибольший выход антигена – 1,5 мл из 125 мл исходной суспензии. Однако полученный препарат не подходил для использования в ИФА. При этом его эффективность в РТГА позволяет рассматривать данный метод как перспективный для получения антигена, предназначенного для гемагглютинационных серологических реакций.

Полученные результаты согласуются с данными других исследователей [10, с. 214; 11, с. 14], отмечающих, что эффективность методов получения вирусных антигенов зависит от природы вирусного материала, способа очистки и дальнейшего диагностического применения препарата.

Заключение. Проведенные исследования показали, что выбор метода получения антигена ВГЛ-1 должен определяться целью его дальнейшего использования.

Для постановки ИФА в исследовательских и диагностических целях наиболее предпочтительным является антиген, полученный из свободных вирионов методом ступенчатого центрифугирования с последующей очисткой в градиенте сахарозы. Данный способ обеспечивает получение наиболее очищенного препарата с низкими фоновыми значениями, однако требует специализированного оборудования, значительных временных и материальных затрат и характеризуется относительно низким выходом.

Антиген, полученный из клеточно-связанной фракции вируса, имеет более высокий выход и демонстрирует выраженную антигенную активность в ИФА, однако наличие клеточных примесей может снижать специфичность реакции.

Для массовых серологических исследований с использованием РТГА может быть рекомендован метод осаждения полиэтиленгликолем. Он является более технологичным и экономичным, обеспечивает высокий выход антигена и позволяет получить препарат, пригодный для реакции торможения гемагглютинации.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке методических рекомендаций по получению антигенов вируса герпеса лошадей 1-го типа для диагностики ринопневмонии лошадей в ветеринарных лабораториях.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Юров, К.П. Диагностика и контроль массовых острых и хронических вирусных инфекций лошадей** [Текст] / К.П. Юров // Российский ветеринарный журнал. – 2017. – № 7. – С. 26–32.

2. **Алексеенкова, С.В., Юров, К.П. Герпетическая инфекция лошадей: особенности патогенеза и диагностики** [Текст] / С.В. Алексеенкова, К.П. Юров // Российский ветеринарный журнал. – 2020. – № 2(6). – С. 13–17. – https://doi.org/10.32416/2500-4379-2020-2-13-17.

3. **Алексеенкова, С.В. Гипервирулентные штаммы вируса ринопневмонии лошадей генотипа А2254, распространенные на территории** РФ [Текст] / С.В. Алексеенкова // Ветеринария. – 2022. – № 11. – С. 3–9.

4. **Жебентяев, А.И., Каткова, Е.Н. Иммуноферментный метод анализа** [Текст] / А.И. Жебентяев, Е.Н. Каткова // Вестник фармации. – 2013. – № 2(60). – С. 90–97.

5. **Чернявцева, А.П. Сравнительная характеристика основных биологических свойств различных штаммов герпесвируса лошадей 1** [Текст]: автореф. дис. … канд. биол. наук / А.П. Чернявцева. – Москва, 2006. – 28 с.

6. **Hierholzer, J.C., Killington, R.A., Stokes, A. Preparation of antigens** [Text] / J.C. Hierholzer, R.A. Killington, A. Stokes // Virology Methods Manual. – 1996. – P. 47–70. – https://doi.org/10.1016/B978-012465330-6/50004-X.

7. **Рябинникова, А.И., Матраимов, М.Б., Шалгынбаев, Э.К., Рыстаева, Р.А., Орынбаев, М.Б. Очистка и концентрирование вируса ринопневмонии лошадей** [Текст] / А.И. Рябинникова, М.Б. Матраимов, Э.К. Шалгынбаев, Р.А. Рыстаева, М.Б. Орынбаев // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2015. – № 4. – С. 129–131.

8. **Reed, L.J., Muench, H. A simple method of estimating fifty per cent endpoints** [Text] / L.J. Reed, H. Muench // American Journal of Epidemiology. – 1938. – Vol. 27(3). – P. 493–497. –https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a118408.

9. **Тайлакова, Э.Т. Червякова, О.В., Садикалиева, С.О., Султанкулова, К.Т., Зайцев, В.Л., Турганбаева, А.С., Сансызбай, А.Р. Оптимизация условий очистки и концентрирования вируса гриппа лошадей** [Текст] / Э.Т. Тайлакова, О.В. Червякова, С.О. Садикалиева, К.Т. Султанкулова, В.Л. Зайцев, А.С. Турганбаева, А.Р. Сансызбай // Вестник науки КазАТУ им. С. Сейфуллина. – 2011. – № 4(71). – 12 с.

10. **Сюрин, В.Н., Самуйленко, А.Я., Соловьев, Б.В., Фомина, Н.В. Вирусные болезни животных** [Текст] / В.Н. Сюрин, А.Я. Самуйленко, Б.В. Соловьев, Н.В. Фомина. – М.: ВНИТИБП, 1998. – 928 с.

11. **Яковлева, А.С., Каньшина, А.В., Щербаков, А.В. Непрямой вариант ИФА для выявления антител к неструктурным белкам вируса ящура в сыворотках крови свиней** [Текст] / А.С. Яковлева, А.В. Каньшина, А.В. Щербаков // Ветеринария сегодня. – 2018. – № 3(26). – С. 13–16.

REFERENCES:

1. **Yurov K.P. Diagnostika i kontrol' massovy'h ostry'h i hronicheskih virusnyh infekcij loshadej** [Diagnosis and control of mass acute and chronic viral infections of horses]. *Rossijskij veterinarny'j zhurnal*, 2017, no. 7, pp. 26–32. (In Russian)

2. **Alekseenkova S.V. Gerpeticheskaya infekciya loshadej: osobennosti patogeneza i diagnostiki** [Equine herpetic infection: features of pathogenesis and diagnosis]. *Rossijskij veterinarny'j zhurnal*, 2020, no. 2(6), pp. 13–17. https://doi.org/10.32416/2500-4379-2020-2-13-17. (In Russian)

3. **Alekseenkova S.V. Gipervirulentny'e shtammy' virusa rinopnevmonii loshadej genotipa A2254, rasprostranenny'e na territorii RF** [Hypervirulent strains of equine rhinopneumonia virus genotype A2254 circulating in the Russian Federation]. *Veterinariya*, 2022, no. 11, pp. 3–9. (In Russian)

4. **Zhebentyaev A.I., Katkova E.N. Immunofermentny'j metod analiza** [Enzyme immunoassay method]. *Vestnik farmacii*, 2013, no. 2(60), pp. 90–97. (In Russian)

5. **Chernyavtseva A.P. Sravnitel'naya harakteristika osnovny'h biologicheskih svojstv razlichny'h shtammov gerpesvirusa loshadej 1** [Comparative characteristics of the main biological properties of various strains of equine herpesvirus 1]. Abstract of PhD thesis (Biol.), Moscow, 2006, 28 p. (In Russian)

6. **Hierholzer J.C., Killington R.A., Stokes A. Preparation of antigens.** *Virology Methods Manual*, 1996, pp. 47–70. https://doi.org/10.1016/B978-012465330-6/50004-X.

7. **Ryabinnikova A.I., Matraimov M.B., Shalgynbaev E.K. et al. Ochistka i koncentrirovanie virusa rinopnevmonii loshadej** [Purification and concentration of equine rhinopneumonia virus]. *Nauka, novy'e tehnologii i innovacii Kyrgy'zstana*, 2015, no. 4, pp. 129–131. (In Russian)

8. **Reed L.J., Muench H. A simple method of estimating fifty per cent endpoints**. *American Journal of Epidemiology*, 1938, vol. 27, no. 3, pp. 493–497. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a118408.

9. **Tailakova E.T., Chervyakova O.V., Sadikalieva S.O. et al. Optimizaciya uslovij ochistki i koncentrirovaniya virusa grippa loshadej** [Optimization of purification and concentration conditions of the equine influenza virus]. *Vestnik nauki KazATU im. S. Sejfullina*, 2011, no. 4(71), 12 p. (In Russian)

10. **Syurin V.N., Samuilenko A.Ya., Solovyov B.V., Fomina N.V. Virusny'e bolezni zhivotny'h** [Viral diseases of animals]. Moscow, VNITIBP, 1998, 928 p. (In Russian)

11. **Yakovleva A.S., Kanshina A.V., Shherbakov A.V. Nepryamoj variant IFA dlya vy'yavleniya antitel k nestrukturny'm belkam virusa yashhura v sy'vorotkah krovi svinej** [An indirect ELISA variant for detecting antibodies to non-structural proteins of the foot-and-mouth disease virus in pig serum]. *Veterinariya segodnya*, 2018, no. 3(26), pp. 13–16. (In Russian)

Дата поступления: 09 апреля 2026 г. **Принято:** 01 июля 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Алексеенкова Светлана Валерьевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук, Российская Федерация, 109428, г. Москва, Рязанский проспект, 24, корп., тел.: 8985 5179086, e-mail: alexeyenkova-viev@yandex.ru.*

Куттымуратова Куралай Бисеновна – магистр ветеринарии, «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, проспект Абая, 26, тел.: 87078780466, e-mail: kaiashka_90@mail.ru.

Сансызбай Абылай Рысбайұлы – доктор ветеринарных наук, профессор кафедры биологической безопасности, «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, проспект Абая, 26, тел.: 87018802525, e-mail: abylay.sansyzbai@gmail.com.

Нусупова Салтанат Тлектесовна – кандидат ветеринарных наук, ассоциированный профессор кафедры фармакологии и патологии животных, «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, проспект Абая, 26, тел.: 87074142728, e-mail: saltanat.nussupova@kaznaru.edu.kz.

Алексеенкова Светлана Валерьевна – биология ғылымдарының кандидаты, Федералдық ғылыми орталығының жетекші ғылыми қызметкері, РҒА К.И. Скрябин және Я.Р. Коваленко атындағы Бүкілресейлік эксперименттік ветеринария ғылыми-зерттеу институты, Ресей Федерациясы, 109428, Мәскеу қ., Рязанский даңғ., 24; тел.: 89855179086; e-mail: alexeyenkova-viev@yandex.ru.*

Құттымұратова Құралай Бисенқызы – ветеринария магистрі, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Абай даңғ., 26; тел.: 87078780466; e-mail: kaiashka_90@mail.ru.

Сансызбай Абылай Рысбайұлы – ветеринария ғылымдарының докторы, биологиялық қауіпсіздік кафедрасының профессоры, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Абай даңғ., 26; тел.: 87018802525; e-mail: abylay.sansyzbai@gmail.com.

Нусупова Салтанат Тлектесқызы – ветеринария ғылымдарының кандидаты, жануарлар фармакологиясы және патологиясы кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Абай даңғ., 26; тел.: 87074142728; e-mail: saltanat.nussupova@kaznaru.edu.kz.

Alekseyenkova Svetlana Valeriyevna – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center – All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Veterinary Medicine named after K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 109428, Moscow, 24 Ryazansky Ave., tel.: 89855179086; e-mail: alexeyenkova-viev@yandex.ru.*

Kuttymuratova Kuralay Bissenovna – Master of Veterinary Medicine, Kazakh National Agrarian Research University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 26 Abai Ave., tel.: 87078780466; e-mail: kaiashka_90@mail.ru.

Sansyzbay Abylay Rysbaiuly – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of biological safety, Kazakh National Agrarian Research University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 26 Abai Ave., tel.: 87018802525; e-mail: abylay.sansyzbai@gmail.com.

Nussupova Saltanat Tlektessovna – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of pharmacology and animal pathology, Kazakh National Agrarian Research University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 26 Abai Ave., tel.: 87074142728; e-mail: saltanat.nussupova@kaznaru.edu.kz.

МРНТИ 68.41.53
УДК 579.62:616.9
https://doi.org/10.52269/SEPT2631025

ИССЛЕДОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ШТАММА *BRUCELLA MELITENSIS* 16М В СЕЛЕЗЕНКЕ ИНФИЦИРОВАННЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ

Алпысбаева С.Е. – кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник лаборатории «Микробиология», ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности», Кордайский р-н, Республика Казахстан.*

Сармыкова М.К. – научный сотрудник лаборатории «Микробиология», ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности», Кордайский р-н, Республика Казахстан.

Әбдімұхтар А.Р. – научный сотрудник лаборатории «Микробиология», ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности», Кордайский р-н, Республика Казахстан.

Еспембетов Б.А. – автор-корреспондент, заведующий лабораторией «Микробиология», ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности», Кордайский р-н, Республика Казахстан.

Бруцеллез остается одной из наиболее значимых зоонозных инфекций в Республике Казахстан, что определяет необходимость стандартизированных экспериментальных моделей для доклинической оценки средств специфической профилактики. Целью исследования явилась оценка воспроизводимости бактериологического метода количественного определения бактериальной нагрузки селезенки лабораторных мышей при экспериментальном заражении Brucella melitensis. Эксперимент проведен в октябре 2025 года в лаборатории микробиологии ТОО «НИИПББ» на белых лабораторных мышах-самках (n = 6) массой 18-20 г, инфицированных внутрибрюшинно суспензией B. melitensis 16M в дозе 2 × 10^5 КОЕ/0,1 мл. Контрольную группу (n = 3) составили интактные животные, которым вводили стерильный физиологический раствор. Бактериальную нагрузку определяли на 15-е сутки после заражения методом количественного посева гомогената селезенки с последующим подсчетом КОЕ и пересчетом на КОЕ/г ткани. Дифференциацию выделенных изолятов от вакцинного штамма Rev-1 проводили по характеру роста на средах со стрептомицином и пенициллином. Во всех случаях установлена колонизация органа возбудителем. Средняя бактериальная нагрузка составила 1,92 × 10^5 ± 0,29 × 10^5 КОЕ/мл при индивидуальных значениях от 1,5 × 10^5 до 2,3 × 10^5 КОЕ/мл (коэффициент вариации 14,9 %); у животных контрольной группы рост микроорганизмов отсутствовал. Морфологические и культуральные характеристики выделенных колоний соответствовали типичным признакам B. melitensis 16M. Полученные результаты подтверждают воспроизводимость применяемого бактериологического метода и возможность его использования в доклинических исследованиях.

Ключевые слова: *Brucella melitensis, белые лабораторные мыши, селезенка, бактериальная нагрузка, экспериментальная модель, КОЕ, Rev-1.*

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ТЫШҚАНДАРДЫҢ КӨКБАУЫРЫНДА *BRUCELLA MELITENSIS* 16М ШТАМЫНЫҢ БАКТЕРИАЛДЫҚ ЖҮКТЕМЕСІН ЗЕРТТЕУ

Алпысбаева С.Е. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «Микробиология» зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Қордай ауданы, Қазақстан Республикасы.*

Сармыкова М.К. – «Микробиология» зертханасының ғылыми қызметкері, «Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Гвардейский кенті, Қазақстан Республикасы.

Әбдімұхтар А.Р. – «Микробиология» зертханасының ғылыми қызметкері, «Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Қордай ауданы, Қазақстан Республикасы.

Еспембетов Б.А. – корреспондент-автор, «Микробиология» зертханасының меңгерушісі, «Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Қордай ауданы, Қазақстан Республикасы.

Бруцеллез Қазақстан Республикасындағы аса маңызды зооноздық инфекциялардың бірі болып қала береді, бұл арнайы профилактика құралдарын доклиникалық бағалауға арналған стандарттанған эксперименттік модельдердің қажеттілігін айқындайды. Зерттеудің мақсаты – зертханалық тышқандарды Brucella melitensis-пен эксперименттік жұқтыру кезінде көкбауырдағы бактериалдық жүктемені сандық анықтауға арналған бактериологиялық әдістің қайта өндірулілігін

бағалау болып табылады. Эксперимент 2025 жылдың қазан айында «БҚПҒЗИ» ЖШС микробиология зертханасында салмағы 18-20 г ақ зертханалық аналық тышқандарда (n = 6) жүргізілді; жануарлар B. melitensis 16M суспензиясымен 2 × 10^5 КТБ/0,1 мл дозада іш қуысына жұқтырылды. Бақылау тобын (n = 3) стерильді физиологиялық ерітінді енгізілген интактілі жануарлар құрады. Бактериалдық жүктеме жұқтырудан кейінгі 15-тәулікте көкбауыр гомогенатын сандық себу әдісімен, КТБ санау және тіннің бір грамына қайта есептеу арқылы анықталды. Бөлініп алынған изоляттарды Rev-1 вакциналық штаммынан ажырату стрептомицин мен пенициллин қосылған қоректік орталардағы өсу сипаты бойынша жүргізілді. Барлық жағдайларда органның қоздырғышпен колонизациясы тіркелді. Орташа бактериалдық жүктеме 1,92 × 10^5 ± 0,29 × 10^5 КТБ/мл құрады, жеке көрсеткіштер 1,5 × 10^5-тен 2,3 × 10^5 КТБ/мл аралығында болды (вариация коэффициенті 14,9 %); бақылау тобындағы жануарларда микроорганизмдердің өсуі байқалмады. Бөлінген колониялардың морфологиялық және дақылдық сипаттамалары B. melitensis 16M-ге тән белгілерге сәйкес келді. Алынған нәтижелер қолданылған бактериологиялық әдістің қайта өндіруділігін және оны доклиникалық зерттеулерде қолдану мүмкіндігін растайды.

Түйінді сөздер: *Brucella melitensis, ақ зертханалық тышқандар, көкбауыр, бактериалдық жүктеме, эксперименттік модель, КТБ, Rev-1.*

STUDY OF THE BACTERIAL LOAD OF *BRUCELLA MELITENSIS* 16M STRAIN IN THE SPLEEN OF LABORATORY MICE

Alpysbayeva S.Ye. – Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Microbiology, Research Institute for Biological Safety Problems LLP, Korday district, Republic of Kazakhstan.*

Sarmykova M.K. – Researcher, Laboratory of Microbiology, Research Institute for Biological Safety Problems LLP, Korday district, Republic of Kazakhstan.

Abdimukhtar A.R. – Researcher, Laboratory of Microbiology, Research Institute for Biological Safety Problems LLP, Korday district, Republic of Kazakhstan.

Yespembetov B.A. – Corresponding Author, Head of the Laboratory of Microbiology, Research Institute for Biological Safety Problems LLP, Korday district, Republic of Kazakhstan.

Brucellosis remains one of the most significant zoonotic infections in the Republic of Kazakhstan, which determines the need for standardized experimental models for the preclinical evaluation of specific prophylactic agents. The aim of this study was to assess the reproducibility of a bacteriological method for the quantitative determination of bacterial load in the spleen of laboratory mice experimentally infected with Brucella melitensis. The experiment was carried out in October 2025 at the Laboratory of Microbiology of the Research Institute for Biological Safety Problems on female white laboratory mice (n = 6) weighing 18-20 g, infected intraperitoneally with a suspension of B. melitensis 16M at a dose of 2 × 10^5 CFU/0.1 ml. The control group (n = 3) consisted of intact animals injected with sterile saline. Bacterial load was determined on day 15 post-infection by quantitative culture of spleen homogenate with subsequent CFU counting and conversion to CFU per gram of tissue. Differentiation of the isolates from the vaccine strain Rev-1 was performed on the basis of growth on media containing streptomycin and penicillin. Colonization of the organ by the pathogen was established in all cases. The mean bacterial load was 1.92 × 10^5 ± 0.29 × 10^5 CFU/ml, with individual values ranging from 1.5 × 10^5 to 2.3 × 10^5 CFU/ml (coefficient of variation 14.9 %); no microbial growth was detected in the control group. The morphological and cultural characteristics of the isolated colonies corresponded to the typical features of B. melitensis 16M. The obtained results confirm the reproducibility of the applied bacteriological method and the possibility of its use in preclinical studies.

Key words: *Brucella melitensis, white laboratory mice, spleen, bacterial load, experimental model, CFU, Rev-1.*

Введение. Бруцеллез относится к числу социально и ветеринарно значимых зоонозных инфекций, сохраняющих актуальность для животноводства и общественного здравоохранения. Заболевание сопровождается репродуктивными нарушениями у сельскохозяйственных животных и приводит к экономическим потерям, связанным со снижением продуктивности, абортами и проведением противоэпизоотических мероприятий [5, с. 105-107]. Одновременно представители рода *Brucella* способны вызывать заболевание у человека, что определяет выраженное зоонозное значение инфекции [1, с. 775-776; 2, с. 393-394; 6, с. 1076].

Особое эпидемиологическое значение имеет *Brucella melitensis*, естественными хозяевами которой преимущественно являются овцы и козы. Данный вид рассматривается как наиболее вирулентный представитель рода *Brucella* и является одним из основных возбудителей бруцеллеза человека [3, с. 283-285]. Заражение людей связано прежде всего с контактом с инфицированными животными и их биологическими материалами, а также с употреблением непастеризованного молока и молочных продуктов. Козы являются одним из основных источников *B. melitensis* для человека [6, с. 1083; 2, с. 393-394]. Расширение круга резервуарных хозяев и появление новых путей передачи возбудителя дополнительно осложняют эпидемиологический контроль инфекции [4, с. S8-S10].

Проблема бруцеллеза сохраняет актуальность и для Республики Казахстан. Анализ эпизоотической и эпидемиологической ситуации за 2022-2024 гг. свидетельствует о продолжающейся регистрации заболевания среди населения и сельскохозяйственных животных. Наибольшее эпидемиологическое неблагополучие в рассматриваемый период отмечалось в южных регионах страны, включая Алматинскую, Жамбылскую, Жетысускую, Кызылординскую и Туркестанскую области, а также г. Шымкент. Установленная взаимосвязь между зараженностью сельскохозяйственных животных и заболеваемостью населения подтверждает необходимость комплексного ветеринарно-санитарного контроля и совершенствования средств специфической профилактики бруцеллеза [15, с. 30-31].

Важной биологической особенностью бактерий рода *Brucella* является их способность к внутриклеточному выживанию и размножению. После проникновения в клетки хозяина вирулентные гладкие штаммы способны сохраняться внутри фагоцитирующих клеток, модифицировать внутриклеточное окружение и препятствовать нормальному созреванию фагосом [7, с. 213-216]. Эти механизмы создают условия для продолжительной персистенции возбудителя в организме и имеют существенное значение в патогенезе бруцеллезной инфекции [6, с. 1079-1080].

Для изучения патогенеза бруцеллеза и сравнительной оценки эффективности профилактических средств широко применяются экспериментальные модели на лабораторных мышах. Наиболее часто в таких исследованиях используются мыши линий BALB/c и C57BL. Одними из основных количественных критериев экспериментальной инфекции являются показатели бактериальной нагрузки в селезенке и печени. Определение количества жизнеспособных бактерий в этих органах позволяет оценивать степень колонизации организма возбудителем и динамику инфекционного процесса [6, с. 1086; 10, с. 3-5].

Особое значение для воспроизведения экспериментального бруцеллеза имеет вирулентный штамм *B. melitensis* 16M. В экспериментальных исследованиях на мышах BALB/c показана его способность к устойчивой колонизации селезенки после внутрибрюшинного заражения. При исследовании динамики инфекции жизнеспособные клетки штамма 16M продолжительное время выявлялись в селезенке экспериментально зараженных животных, а количественный бактериологический метод использовался для определения уровня колонизации органа [16, с. 2188-2190].

Селезенка является одним из наиболее информативных органов для количественной оценки экспериментальной бруцеллезной инфекции. Бактериальная нагрузка селезенки широко используется при исследовании патогенеза *Brucella* и при оценке экспериментальных вакцинных кандидатов. Снижение количества жизнеспособных бруцелл в органах вакцинированных животных после контрольного заражения позволяет количественно характеризовать защитный эффект исследуемого препарата [9, с. 91-93]. Вместе с тем при интерпретации результатов следует учитывать ограничения мышиной модели и различия между лабораторными животными и естественными хозяевами возбудителя [6, с. 1085-1086; 16, с. 2190].

Важным направлением контроля бруцеллеза остается специфическая профилактика инфекции с использованием живых вакцинных штаммов *Brucella*. В ранее проведенных нами исследованиях была изучена эффективность конъюнктивальной живой сухой вакцины против бруцеллеза овец и коз на основе штамма *Brucella melitensis* Rev-1, включая результаты комиссионных испытаний препарата [17, с. 307–310]. В последующей работе нами была проведена оценка температурной стабильности лиофилизированной вакцины на основе штамма *B. melitensis* Rev-1, что позволило дополнительно охарактеризовать свойства вакцинного препарата при различных условиях хранения [18, с. 238–241]. Дальнейшая разработка и оценка средств специфической профилактики бруцеллеза требуют применения воспроизводимой экспериментальной модели, позволяющей количественно оценивать уровень инфицирования органов лабораторных животных и объективно определять протективную эффективность исследуемых вакцинных препаратов.

Таким образом, определение бактериальной нагрузки в селезенке лабораторных мышей после экспериментального заражения вирулентным штаммом *B. melitensis* 16M представляет собой объективный количественный подход к характеристике экспериментальной инфекции. Получение воспроизводимых значений бактериальной нагрузки необходимо для стандартизации модели и создает основу для ее последующего использования при доклинической оценке эффективности средств специфической профилактики бруцеллеза.

Цель исследования – определить бактериальную нагрузку штамма *Brucella melitensis* 16M в селезенке инфицированных лабораторных мышей и оценить воспроизводимость используемой экспериментальной модели.

Задачи исследования:

1. Провести внутрибрюшинное заражение мышей штаммом *Brucella melitensis* 16M.
2. Выполнить асептическое извлечение селезенки и подготовку гомогената.
3. Определить бактериальную нагрузку методом последовательных разведений и подсчета КОЕ.
4. Провести сравнительную идентификацию культур с контрольным вакцинным штаммом Rev-1.
5. Оценить воспроизводимость экспериментальной модели.

Материалы и методы. Эксперимент проведен в октябре 2025 года в лаборатории микробиологии ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности» (пгт. Гвардейский, Кордайский район, Жамбылская область, Республика Казахстан).

Лабораторные животные. Объектом исследования служили белые аутбредные (беспородные) мыши-самки в возрасте 6-8 недель, массой 18-20 г (n = 6), полученные из ИП «БЕРЕКЕ». Животных содержали в условиях вивария при температуре 20-24 °С, относительной влажности 45-65 % и 12-часовом цикле освещения при свободном доступе к воде и стандартному гранулированному корму; перед началом эксперимента проводили карантин и адаптацию продолжительностью 7 суток. Все манипуляции выполняли в соответствии с международными принципами проведения биомедицинских исследований с использованием животных [12]; протокол исследования одобрен комиссией по биоэтике ТОО «НИИПББ» (протокол № 1 от 14 июля 2023 г).

В качестве контрольной группы использовали интактных животных (n = 3), которым внутрибрюшинно вводили 0,1 мл стерильного физиологического раствора.

Заражение. Животных опытной группы инфицировали внутрибрюшинным введением 0,1 мл суспензии, содержащей 2 × 10^5 КОЕ вирулентного штамма *Brucella melitensis* 16M (коллекционный № 841), согласно рекомендациям WOAH (OIE) [11, с. 48]. Фактическую инфицирующую дозу подтверждали ретроспективным количественным высевом рабочей суспензии.

Отбор материала. На 15-е сутки после заражения животных выводили из эксперимента методом смещения шейных позвонков в соответствии с рекомендациями AVMA [13]. Селезенки извлекали асептически, освобождали от жировой ткани, взвешивали на аналитических весах с точностью 0,001 г и гомогенизировали в стерильном физиологическом растворе (pH 6,8 ± 0,2) в соотношении 1 : 9 (масса ткани : объем раствора).

Количественный посев. Из гомогената готовили последовательные десятикратные разведения (10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}). По 0,2 мл каждого разведения высевали на Brucella Agar Base [Liofilchem®S.r.l. Italy, кат. №062823503] и инкубировали при 37 ± 0,5 °С в течение 5 суток [11, с. 48]. Колонии *B. melitensis* подсчитывали на чашках, содержащих от 30 до 300 колоний, и рассчитывали бактериальную нагрузку по формуле:

$$КОЕ/мл = (N \times D) / V,$$

где N – среднее число колоний на чашке; D – коэффициент разведения; V – объем высеваемой суспензии, мл (0,2).

С учетом того, что гомогенат готовили в соотношении 1 : 9, пересчет на единицу массы органа выполняли по формуле КОЕ/г = КОЕ/мл × 10, а общее содержание возбудителя в органе рассчитывали как произведение бактериальной нагрузки на единицу массы и массы селезенки с последующим логарифмированием (lg КОЕ/селезенку). Учет колоний и интерпретацию результатов проводили в соответствии с общими требованиями к микробиологическим исследованиям [14].

Идентификация. Для дифференциальной идентификации выделенных культур *Brucella melitensis* использовали сравнительный анализ с вакцинным штаммом *B. melitensis* Rev-1. Оценивали характер роста на питательных средах, содержащих стрептомицин (2,5 мкг/мл) и пенициллин (5 МЕ/мл), применяемых для дифференциации штаммов рода *Brucella* [11, с. 48], а также морфологические и культуральные свойства колоний.

Статистическая обработка. Результаты обрабатывали методами описательной статистики с расчетом среднего арифметического, выборочного стандартного отклонения (Mean ± SD) и коэффициента вариации (CV, %) в программе Microsoft Excel 2019.

Результаты

Посев гомогенатов селезенки на Brucella Agar Base выявил рост колоний с морфологическими признаками, характерными для *Brucella melitensis* (гладкие, мелкие, полупрозрачные, с ровными краями). Количественные показатели бактериальной нагрузки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Бактериальная нагрузка Brucella melitensis 16M в селезенке инфицированных мышей (n = 6)

№	Масса селезенки, г	Бактериальная нагрузка, КОЕ/мл гомогената	Бактериальная нагрузка, КОЕ/г ткани	lg КОЕ/селезенку
1	0,11	1,5 × 10^5	1,5 × 10^6	5,22
2	0,13	1,7 × 10^5	1,7 × 10^6	5,34
3	0,14	2,0 × 10^5	2,0 × 10^6	5,45
4	0,12	1,9 × 10^5	1,9 × 10^6	5,36
5	0,11	2,1 × 10^5	2,1 × 10^6	5,36
6	0,12	2,3 × 10^5	2,3 × 10^6	5,44
Mean ± SD	0,12 ± 0,01	1,92 × 10^5 ± 0,29 × 10^5	1,92 × 10^6 ± 0,29 × 10^6	5,36 ± 0,08

Анализ данных показал, что бактериальная нагрузка в селезенке варьировала в пределах от 1,5 × 10^5 до 2,3 × 10^5 КОЕ/мл гомогената при среднем значении 1,92 × 10^5 ± 0,29 × 10^5 КОЕ/мл. При пересчете на массу ткани средний уровень составил 1,92 × 10^6 ± 0,29 × 10^6 КОЕ/г, что в пересчете на орган соответствует 5,36 ± 0,08 lg КОЕ/селезенку.

Отмечена индивидуальная вариабельность показателей: максимальное значение зарегистрировано у животного № 6, минимальное – у животного № 1. Коэффициент вариации бактериальной нагрузки составил 14,9 %, что свидетельствует о низкой межиндивидуальной изменчивости и стабильности используемой модели заражения.

При бактериологическом исследовании селезенки у животных контрольной группы (n = 3) роста микроорганизмов не выявлено (0 КОЕ), что подтверждает корректность постановки эксперимента и отсутствие контаминации.

Для дополнительной характеристики выделенных изолятов проведен контрольный пересев, в ходе которого установлено сохранение типичных культуральных свойств: отмечался рост на стандартных питательных средах и на среде с пенициллином при отсутствии роста на стрептомицинсодержащей среде, что соответствует характеристикам референс-штамма *B. melitensis* 16M.

Сравнительный анализ с вакцинным штаммом Rev-1 показал отсутствие совпадения по ростовым характеристикам на селективной среде со стрептомицином, что исключает принадлежность выделенных изолятов к вакцинному штамму.

Для наглядной оценки вариабельности бактериальной нагрузки между животными результаты представлены графически (рисунок 1).

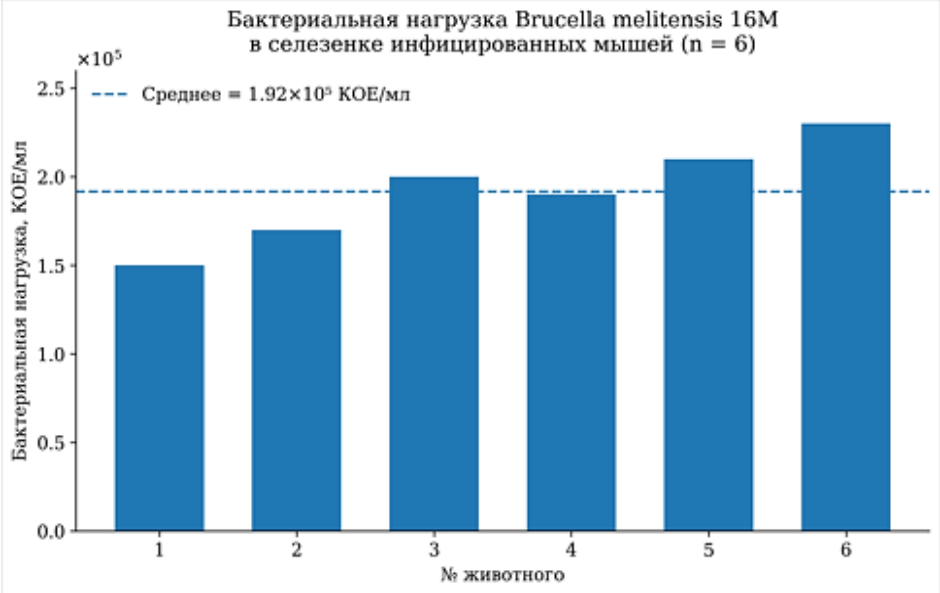


Рисунок 1 – Индивидуальные значения бактериальной нагрузки *Brucella melitensis* 16M в селезенке инфицированных мышей (n = 6)

График иллюстрирует распределение индивидуальных значений бактериальной нагрузки у инфицированных животных. Отмечается вариабельность показателей при сохранении общей тенденции к стабильной колонизации селезенки. Горизонтальная линия отражает средний уровень бактериальной нагрузки.

Обсуждение. Полученные результаты показали, что при внутрибрюшинном заражении мышей штаммом *Brucella melitensis* 16M формируется стабильная колонизация селезенки, сопровождающаяся выраженной бактериальной нагрузкой на уровне 10^5 КОЕ/мл гомогената (10^6 КОЕ/г ткани). Данные изменения подтверждают высокую тропность возбудителя к органам ретикулоэндотелиальной системы, в частности к селезенке, что согласуется с ранее опубликованными исследованиями [6, с. 1085-1086; 8, с. 3-5; 10, с. 5-7].

Селезенка рассматривается как один из ключевых органов-мишеней при бруцеллезной инфекции, поскольку в ней происходит активное взаимодействие патогена с макрофагами и клетками врожденного иммунитета, что обеспечивает внутриклеточную персистенцию бактерий [7, с. 213-216; 9, с. 91-93]. Именно этим объясняется устойчивое накопление *Brucella* в данном органе и сохранение высокого уровня бактериальной нагрузки на 15-е сутки после заражения.

Сравнение полученных данных с литературными источниками показывает, что наблюдаемый уровень колонизации (10^5-10^6 КОЕ) соответствует описанным значениям для экспериментальной модели мышиного бруцеллеза при использовании штамма *B. melitensis* 16M. Так, в ряде исследований отмечается формирование аналогичного диапазона бактериальной нагрузки в селезенке в сроки от 14 до 21 суток после инфицирования, что подтверждает воспроизводимость используемой модели [6, с. 1086; 8, с. 3-5; 16, с. 2189-2190].

Дополнительным подтверждением корректности выделения возбудителя служат результаты дифференциальной идентификации, включающие сравнение с вакцинным штаммом Rev-1 и анализ

антибиотикочувствительности. Полученные изоляты не соответствовали характеристикам Rev-1, что исключает вероятность их принадлежности к вакцинному штамму и подтверждает наличие вирулентного варианта *B. melitensis*.

Следует отметить, что использование референс-штамма Rev-1 в качестве контрольного позволяет повысить достоверность идентификации, поскольку данный штамм широко применяется как эталонный вакцинный вариант и отличается стабильными фенотипическими характеристиками [11, с. 48; 17, с. 307–310].

Небольшой объем выборки (n = 6) является ограничением данного исследования, однако он соответствует пилотному характеру работы, направленной на оценку воспроизводимости экспериментальной модели и первичное определение уровня бактериальной нагрузки. Несмотря на это, полученные результаты демонстрируют низкую вариабельность показателей (CV = 14,9 %), что свидетельствует о стабильности модели заражения. Дополнительным ограничением является использование единственной контрольной точки (15-е сутки), не позволяющее охарактеризовать динамику инфекционного процесса.

В целом совокупность полученных данных подтверждает пригодность использованной экспериментальной системы для изучения бруцеллезной инфекции и может служить основой для дальнейших доклинических исследований, включая оценку иммуногенных и протективных свойств разрабатываемых вакцинных препаратов.

Заключение

1. В результате внутрибрюшинного заражения лабораторных мышей штаммом *Brucella melitensis* 16M достигнута стабильная колонизация селезенки у всех экспериментальных животных.

2. Проведена асептическая подготовка гомогенатов селезенки, обеспечившая получение воспроизводимых результатов бактериологического исследования.

3. Установлено, что бактериальная нагрузка в селезенке инфицированных животных варьирует в пределах от $1,5 \times 10^5$ до $2,3 \times 10^5$ КОЕ/мл гомогената при среднем значении $1,92 \times 10^5 \pm 0,29 \times 10^5$ КОЕ/мл ($1,92 \times 10^6 \pm 0,29 \times 10^6$ КОЕ/г ткани; 5,36 ± 0,08 lg КОЕ/селезенку).

4. На основании культуральных свойств и анализа антибиотикочувствительности установлено, что выделенные изоляты соответствуют вирулентному штамму *Brucella melitensis* 16M и не относятся к вакцинному штамму Rev-1.

5. Полученные результаты подтверждают воспроизводимость экспериментальной модели (CV = 14,9 %) и возможность ее использования для последующих доклинических исследований.

Информация о финансировании. Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR25293294 «Вакцина против бруцеллеза на основе геномных технологий» на 2024–2026 годы).

Вклад авторов. Алпысбаева С.Е. – концепция и дизайн исследования, проведение экспериментальной части, статистическая обработка данных, написание текста статьи. Сармыкова М.К. – проведение бактериологических исследований. Әбдімұхтар А.Р. – работа с лабораторными животными, подготовка гомогенатов, оформление иллюстративного материала. Еспембетов Б.А. – научное руководство, редактирование и утверждение окончательного варианта статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Авторы благодарят руководство института и сотрудников лаборатории микробиологии за всестороннюю поддержку и содействие в выполнении исследования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Franco M.P., Mulder M., Gilman R.H., Smits H.L. Human brucellosis** [Текст] / M.P. Franco, M. Mulder, R.H. Gilman, H.L. Smits // Lancet Infectious Diseases. – 2007. – Vol. 7, No. 12. – P. 775–786. DOI: 10.1016/S1473-3099(07)70286-4.

2. **Seleem M.N., Boyle S.M., Sriranganathan N. Brucellosis: a re-emerging zoonosis** [Текст] / M.N. Seleem, S.M. Boyle, N. Sriranganathan // Veterinary Microbiology. – 2010. – Vol. 140, No. 3–4. – P. 392–398. DOI: 10.1016/j.vetmic.2009.06.021.

3. **Young E.J. An overview of human brucellosis** [Текст] / E.J. Young // Clinical Infectious Diseases. – 1995. – Vol. 21, No. 2. – P. 283–290. DOI: 10.1093/clinids/21.2.283.

4. **Pappas G. The changing Brucella ecology: novel reservoirs, new threats** [Текст] / G. Pappas // International Journal of Antimicrobial Agents. – 2010. – Vol. 36, Suppl. 1. – P. S8–S11. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2010.06.013.

5. **Poester F.P., Samartino L.E., Santos R.L. Pathogenesis and pathobiology of brucellosis in livestock** [Текст] / F.P. Poester, L.E. Samartino, R.L. Santos // Revue Scientifique et Technique. – 2013. – Vol. 32, No. 1. – P. 105–115. DOI: 10.20506/rst.32.1.2193.

6. **Olsen S.C., Palmer M.V. Advancement of knowledge of Brucella over the past 50 years** [Текст] / S.C. Olsen, M.V. Palmer // Veterinary Pathology. – 2014. – Vol. 51, No. 6. – P. 1076–1089. DOI: 10.1177/0300985814540545.

7. **Martirosyan A., Moreno E., Gorvel J.P. An evolutionary strategy for a stealthy intracellular Brucella pathogen** [Текст] / A. Martirosyan, E. Moreno, J.P. Gorvel // Immunological Reviews. – 2011. – Vol. 240, No. 1. – P. 211–234. DOI: 10.1111/j.1600-065X.2010.00982. x.

8. **Jansen W., Demars A., Nicaise C. et al. Shedding of Brucella melitensis happens through milk macrophages in the murine model of infection** [Текст] / W. Jansen, A. Demars, C. Nicaise et al. // Scientific Reports. – 2020. – Vol. 10. – Art. 9421. DOI: 10.1038/s41598-020-66451-5.

9. **Skendros P., Boura P. Immunity to brucellosis** [Текст] / P. Skendros, P. Boura // Revue Scientifique et Technique. – 2013. – Vol. 32, No. 1. – P. 137–147. DOI: 10.20506/rst.32.1.2190.

10. **Ponzilacqua-Silva B., Dadelahi A.S., Moley C.R., Abushahba M.F.N., Skyberg J.A. Metabolomic analysis of murine tissues infected with Brucella melitensis** [Текст] / B. Ponzilacqua-Silva, A.S. Dadelahi, C.R. Moley, M.F.N. Abushahba, J.A. Skyberg // *PLOS ONE*. – 2025. – Vol. 20, No. 1. – Art. e0314672. DOI: 10.1371/journal.pone.0314672.

11. **WOAH. Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals. Chapter 3.1.4. Brucellosis** [Текст] / WOAH. – Paris: WOAH, 2023. – 48 p.

12. **CIOMS, ICLAS. International guiding principles for biomedical research involving animals** [Текст] / CIOMS, ICLAS. – Geneva, 2012. – 4 p.

13. **AVMA. Guidelines for the Euthanasia of Animals** [Текст] / AVMA. – Schaumburg: AVMA, 2020. – 121 p.

14. **ISO 7218:2007. Microbiology of food and animal feeding stuffs – General requirements and guidance for microbiological examinations** [Текст]. – Введ. 2007–08–15. – Geneva: ISO, 2007. – 66 p.

15. **Ергазина А.М., Аубакиров М.Ж., Кайыпбай Б.Б., Мурзакаева Г.К. Мониторинг эпизоотической и эпидемиологической ситуации по бруцеллезу в регионах Республики Казахстан и в субъектах Костанайской области** [Текст] / А.М. Ергазина, М.Ж. Аубакиров, Б.Б. Кайыпбай, Г.К. Мурзакаева // 3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация. – Костанай. – 2025. – No. 1(3). – С. 29–39. DOI: 10.52269/KGTD253129.

16. **Crawford R.M., Van De Verg L., Yuan L. et al. Deletion of purE attenuates Brucella melitensis infection in mice** [Текст] / R.M. Crawford, L. Van De Verg, L. Yuan et al. // Infection and Immunity. – 1996. – Vol. 64, No. 6. – P. 2188–2192. DOI: 10.1128/IAI.64.6.2188-2192.1996.

17. **Алпысбаева С.Е., Еспембетов Б.А., Зинина Н.Н. et al. Комиссионные испытания конъюнктивальной живой сухой вакцины против бруцеллеза овец и коз из штамма Brucella melitensis Rev-1** [Текст] / С.Е. Алпысбаева, Б.А. Еспембетов, Н.Н. Зинина et al. // Ғылым және білім. – 2024. – No. 4-1(76). – С. 306–318. DOI: 10.52578/2305-9397-2024-4-1-306-318.

18. **Еспембетов Б.А., Сармыкова М.К., Серікбай Е.Б. et al. Brucella melitensis Rev-1 лиофилизатталған вакцинасының температуралық тұрақтылығын бағалау** [Мәтін] / Б.А. Еспембетов, М.К. Сармыкова, Е.Б. Серікбай et al. // Ғылым және білім. – 2025. – No. 4-2(81). – Б. 236–245. DOI: 10.52578/2305-9397-2025-4-2-236-245.

REFERENCES:

1. **Franco M.P., Mulder M., Gilman R.H., Smits H.L. Human brucellosis.** *Lancet Infectious Diseases*, 2007, vol. 7, no. 12, pp. 775-786. DOI: 10.1016/S1473-3099(07)70286-4.

2. **Seleem M.N., Boyle S.M., Sriranganathan N. Brucellosis: a re-emerging zoonosis.** *Veterinary Microbiology*, 2010, vol. 140, no. 3-4, pp. 392-398. DOI: 10.1016/j.vetmic.2009.06.021.

3. **Young E.J. An overview of human brucellosis.** *Clinical Infectious Diseases*, 1995, vol. 21, no. 2, pp. 283-290. DOI: 10.1093/clinids/21.2.283.

4. **Pappas G. The changing Brucella ecology: novel reservoirs, new threats.** *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2010, vol. 36, suppl. 1, pp. S8-S11. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2010.06.013.

5. **Poester F.P., Samartino L.E., Santos R.L. Pathogenesis and pathobiology of brucellosis in livestock.** *Revue Scientifique et Technique*, 2013, vol. 32, no. 1, pp. 105-115. DOI: 10.20506/rst.32.1.2193.

6. **Olsen S.C., Palmer M.V. Advancement of knowledge of Brucella over the past 50 years.** *Veterinary Pathology*, 2014, vol. 51, no. 6, pp. 1076-1089. DOI: 10.1177/0300985814540545.

7. **Martirosyan A., Moreno E., Gorvel J.P. An evolutionary strategy for a stealthy intracellular Brucella pathogen.** *Immunological Reviews*, 2011, vol. 240, no. 1, pp. 211-234. DOI: 10.1111/j.1600-065X.2010.00982.x.

8. **Jansen W., Demars A., Nicaise C. et al. Shedding of Brucella melitensis happens through milk macrophages in the murine model of infection.** *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, art. 9421. DOI: 10.1038/s41598-020-66451-5.

9. **Skendros P., Boura P. Immunity to brucellosis.** *Revue Scientifique et Technique*, 2013, vol. 32, no. 1, pp. 137-147. DOI: 10.20506/rst.32.1.2190.

10. **Ponzilacqua-Silva B., Dadelahi A.S., Moley C.R., Abushahba M.F.N., Skyberg J.A. Metabolomic analysis of murine tissues infected with Brucella melitensis.** *PLOS ONE*, 2025, vol. 20, no. 1, art. e0314672. DOI: 10.1371/journal.pone.0314672.

11. **WOAH. Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals.** Chapter 3.1.4. Brucellosis. Paris, WOAH, 2023, 48 p.

12. **CIOMS, ICLAS. International guiding principles for biomedical research involving animals.** Geneva, 2012, 4 p.

13. **AVMA. Guidelines for the Euthanasia of Animals.** Schaumburg, AVMA, 2020, 121 p.

14. **ISO 7218:2007. Microbiology of food and animal feeding stuffs – General requirements and guidance for microbiological examinations.** Geneva, ISO, 2007, 66 p.

15. **Ergazina A.M., Aubakirov M.Zh., Kaiypbaj B.B., Murzakaeva G.K. Monitoring e'pizooticheskoj i e'pidemiologicheskoj situacii po brutsellezu v regionah Respubliki Kazahstan i v sub"ektah Kostanaiskoj oblasti** [Monitoring of the epizootic and epidemiological situation on Brucellosis in the regions of the Republic of Kazakhstan and in the districts of Kostanay region]. *3i: intellect, idea, innovation*, Kostanay, 2025, no. 1(3), pp. 29-39. DOI: 10.52269/KGTD253129. (In Russian)

16. **Crawford R.M., Van De Verg L., Yuan L. et al. Deletion of pure attenuates Brucella melitensis infection in mice.** *Infection and Immunity*, 1996, vol. 64, no. 6, pp. 2188-2192. DOI: 10.1128/IAI.64.6.2188-2192.1996.

17. **Alpysbayeva S.E., Espembetov B.A., Zinina N.N. et al. Komissionny'e ispy'taniya kon"iunktival'noj zhivoj suhoj vakciny' protiv brutselleza ovec i koz iz shtamma Brucella melitensis Rev-1** [Commission testing of a conjunctival live dry vaccine against brucellosis of sheep and goats from the Brucella melitensis Rev-1 strain]. *Gylym zhane bilim*, 2024, no. 4-1(76), pp. 306-318. DOI: 10.52578/2305-9397-2024-4-1-306-318. (In Russian)

18. **Espembetov B.A., Sarmykova M.K., Serikbai E.B. et al. Brucella melitensis Rev-1 liofilizattalgan vaktsinasynyn temperaturalyk turaktylygyn bagalau** [Assessment of the temperature stability of the lyophilized Brucella melitensis Rev-1 vaccine]. *Gylym zhane bilim*, 2025, no. 4-2(81), pp. 236-245. DOI: 10.52578/2305-9397-2025-4-2-236-245. (In Kazakh)

Дата поступления: 15 апреля 2026 г. **Принято:** 13 августа 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Алпысбаева Сабира Егизбаевна – кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник лаборатории «Микробиология», ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности», Республика Казахстан, 080409, Жамбылская область, Кордайский район, пгт. Гвардейский, дом 25/1, тел.: 87787794750, 87013544886 (WhatsApp), e-mail: s.alpysbaeva@biosafety.kz.*

Сармыкова Махпал Кенжеевна – научный сотрудник лаборатории «Микробиология», ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности», Республика Казахстан, 080409, Жамбылская область, Кордайский район, пгт. Гвардейский, дом 25/1, тел.: 87752250311, e-mail: m.sarmykova@biosafety.kz.

Әбдімұхтар Азамат Рүстемұлы – научный сотрудник лаборатории «Микробиология», ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности», Республика Казахстан, 080409, Жамбылская область, Кордайский район, пгт. Гвардейский, дом 25/1, тел.: 87764898174, e-mail: a.abdimukhtar@biosafety.kz.

Еспембетов Болат Аманбаевич – автор-корреспондент, заведующий лабораторией «Микробиология», ТОО «Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности», Республика Казахстан, 080409, Жамбылская область, Кордайский район, пгт. Гвардейский, дом 25/1, тел.: 87783705956, e-mail: b.yespembetov@biosafety.kz.

Алпысбаева Сабира Егизбаевна – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «Микробиология» зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 080409, Жамбыл облысы, Қордай ауданы, Гвардейский кенті, 25/1 үй; тел.: 87787794750, 87013544886 (WhatsApp); e-mail: s.alpysbaeva@biosafety.kz.*

Сармыкова Махпал Кенжеевна – «Микробиология» зертханасының ғылыми қызметкері, «Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 080409, Жамбыл облысы, Қордай ауданы, Гвардейский кенті, 25/1 үй; тел.: 87752250311; e-mail: m.sarmykova@biosafety.kz.

Әбдімұхтар Азамат Рүстемұлы – «Микробиология» зертханасының ғылыми қызметкері, «Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 080409, Жамбыл облысы, Қордай ауданы, Гвардейский кенті, 25/1 үй; тел.: 87764898174; e-mail: a.abdimukhtar@biosafety.kz.

Еспембетов Болат Аманбаевич – корреспондент-автор, «Микробиология» зертханасының меңгерушісі, «Биологиялық қауіпсіздік проблемаларының ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 080409, Жамбыл облысы, Қордай ауданы, Гвардейский кенті, 25/1 үй; тел.: 87783705956; e-mail: b.yespembetov@biosafety.kz.

Alpysbayeva Sabira Yegizbayevna – Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Microbiology, Research Institute for Biological Safety Problems LLP, Republic of Kazakhstan, 080409, Zhambyl region, Korday district, 25/1 Gvardeiskiy settlement, tel.: 87787794750, 87013544886 (WhatsApp); e-mail: s.alpysbaeva@biosafety.kz.*

Sarmykova Makhpal Kenzheyevna – Researcher, Laboratory of Microbiology, Research Institute for Biological Safety Problems LLP, Republic of Kazakhstan, 080409, Zhambyl region, Korday district, 25/1 Gvardeiskiy settlement, tel.: 87752250311; e-mail: m.sarmykova@biosafety.kz.

Abdimukhtar Azamat Rustemuly – Researcher, Laboratory of Microbiology, Research Institute for Biological Safety Problems LLP, Republic of Kazakhstan, 080409, Zhambyl region, Korday district, 25/1 Gvardeiskiy settlement, tel.: 87764898174; e-mail: a.abdimukhtar@biosafety.kz.

Yespembetov Bolat Amanbayevich – Corresponding Author, Head of the Laboratory of Microbiology, Research Institute for Biological Safety Problems LLP, Republic of Kazakhstan, 080409, Zhambyl region, Korday district, 25/1 Gvardeiskiy settlement, tel.: 87783705956; e-mail: b.yespembetov@biosafety.kz.

МРНТИ 68.41:31
УДК 619:614.31:634.51(510) (045)
https://doi.org/10.52269/SEPT2631033

САНИТАРНАЯ ОЦЕНКА ГРЕЦКОГО ОРЕХА ИМПОРТИРУЕМОГО ИЗ КНР

Аутелеева Л.Т. – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.*

Майканов Б.С. – доктор биологических наук, профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Смагулова А.С. – магистр ветеринарных наук, докторант, НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», г. Астана, Республика Казахстан.

Целью работы являлось выявление соответствия импортируемой орехоплодной продукции требованиям технических регламентов. В статье представлена санитарная оценка качества и безопасности грецкого ореха, импортируемого из Китайской Народной Республики и реализуемого на продовольственных рынках Республики Казахстан. Актуальность исследования обусловлена высоким уровнем потребления орехов населением, а также рисками контаминации импортируемой продукции микотоксинами и другими опасными веществами при нарушении условий хранения, транспортировки и реализации.

В ходе исследования были отобраны образцы грецкого ореха из торговых точек различных регионов Казахстана. Оценка проводилась с использованием органолептических, физико-химических и лабораторных методов анализа. Особое внимание уделялось определению содержания афлатоксина B_1 – одного из наиболее токсичных и канцерогенных микотоксинов, представляющих опасность для здоровья человека. Полученные результаты показали, что по органолептическим показателям большинство образцов соответствовали установленным нормативам. Однако в отдельных пробах выявлено превышение предельно допустимых концентраций афлатоксина B_1, что указывает на возможные нарушения санитарных требований на этапах производства, хранения или транспортировки. На основании полученных данных предложены меры по усилению ветеринарно-санитарного контроля на таможенной границе и при реализации орехов на внутреннем рынке, направленные на снижение рисков микотоксиновой контаминации и обеспечение продовольственной безопасности населения.

Ключевые слова: *качество, безопасность, контаминация, афлатоксины, грецкий орех, санитарная оценка, КНР.*

ҚЫТАЙ ХАЛЫҚ РЕСПУБЛИКАСЫНАН ИМПОРТТАЛҒАН ЖАҢҒАҚТАРДЫ САНИТАРЛЫҚ БАҒАЛАУ

Аутелеева Л.Т. – PhD, қауымдастырылған профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Астана қ, Қазақстан Республикасы.*

Майқанов Б.С. – биология ғылымдарының докторы, профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Астана қ, Қазақстан Республикасы.

Смагулова А.С. – ветеринария ғылымдарының магистрі, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті», Астана қ, Қазақстан Республикасы.

Жұмыстың мақсаты импортталатын жаңғақ өнімдерінің Кеден одағының техникалық регламенттерінің талаптарына сәйкестігін анықтау болды. Мақалада Қытай Халық Республикасынан әкелінген және Қазақстан Республикасының азық-түлік базарларында сатылатын жаңғақтардың сапасы мен қауіпсіздігіне санитарлық бағалау берілген. Зерттеудің өзектілігі халықтың жаңғақ тұ-

тынуының жоғары деңгейімен, сондай-ақ сақтау, тасымалдау және тарату шарттары сақталмаған жағдайда импорттық өнімдердің микотоксиндермен және басқа да қауіпті заттармен ластану қаупіне байланысты.

Зерттеу барысында Қазақстанның әртүрлі аймақтарындағы сауда нүктелерінен жаңғақ үлгілері алынды. Бағалау органолептикалық, физика-химиялық және зертханалық әдістермен жүргізілді. Адам денсаулығына қауіп төндіретін ең улы және канцерогенді микотоксиндердің бірі афлатоксин B_1 құрамын анықтауға ерекше назар аударылды. Нәтижелер үлгілердің көпшілігі органолептикалық параметрлері бойынша белгіленген стандарттарға сәйкес келетінін көрсетті. Дегенмен, кейбір үлгілерде афлатоксин B_1 концентрациясы ең жоғары рұқсат етілген шектен асып кетті, бұл өндіру, сақтау немесе тасымалдау кезіндегі санитарлық талаптардың ықтимал бұзылуын көрсетеді. Алынған деректер негізінде Кеден шекарасында және ішкі нарықта жаңғақ сату кезінде микотоксиндік ластану қаупін төмендетуге және халықтың азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған ветеринариялықсанитарлық бақылауды күшейту шаралары ұсынылды.

Түйінді сөздер: *сапасы, қауіпсіздігі, ластануы, афлатоксиндер, грек жаңғағы, санитарлық бағалау, Қытай.*

SANITARY ASSESSMENT OF WALNUTS IMPORTED FROM CHINA

*Auteleyeva L.T. * – PhD, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

Maikanov B.S. – Doctor of Biological Sciences, Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Smagulova A.S. – Master of Veterinary Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan.

The research objective was to determine compliance of imported walnut products with technical regulations. This article presents a sanitary assessment of the quality and safety of walnuts imported from the People's Republic of China and sold in food markets in the Republic of Kazakhstan. The relevance of this research is driven by the high level of nut consumption among the population, combined with the risk that imported products may become contaminated with mycotoxins and other hazardous substances when storage, transportation, and distribution conditions are not observed.

During the study, walnut samples were collected from retail outlets in various regions of Kazakhstan. The assessment was conducted using organoleptic, physicochemical, and laboratory methods. Particular attention was paid to determining the content of aflatoxin B_1, one of the most toxic and carcinogenic mycotoxins that poses a health hazard to humans. The results showed that most samples complied with established standards in terms of organoleptic parameters. However, in some samples, aflatoxin B_1 concentrations exceeded the maximum permissible limits, indicating possible violations of sanitary requirements during production, storage, or transportation. Based on the obtained data, measures are proposed to strengthen veterinary-sanitary control at the customs border and during walnut sales in the domestic market, aimed at reducing mycotoxin contamination risks and ensuring the food safety of the population.

Key words: *quality, safety, contamination, aflatoxins, walnut, sanitary assessment, People's Republic of China.*

Введение. Грецкие орехи содержат богатый источник ненасыщенных жирных кислот и клетчатки, а также других микроэлементов и биоактивных компонентов. Интересно, что физическая структура грецких орехов дает на 21% меньше метаболизируемой энергии [1, с. 9-13]. Таким образом, эти непереваренные пищевые компоненты доступны для микробного метаболизма в желудочно-кишечном тракте. Действительно, было показано, что потребление грецких орехов увеличивает количество *Firmicutes* в продуцирующих бутират кластерах *Clostridium*, включая *Faecali bacterium* и *Roseburia*, и снижает образование провоспалительных желчных кислот у взрослых. Эксперименты *in vitro* также показали, что ферментация грецкого ореха приводит к увеличению концентрации короткоцепочечных жирных кислот (SCFAs-short-chain fatty acids) и снижению концентрации вторичных желчных кислот [2, с. 2063-2073].

Осведомленность людей во всем мире о безопасной и здоровой пище растет, что способствует созданию программ по обнаружению и оповещению об обнаружении опасных веществ. В Европейском Союзе стратегия безопасности пищевых продуктов включает Систему быстрого оповещения о пищевых продуктах и кормах (RASFF).

Почти 96% из всех уведомлений о микотоксинах, полученных в RASFF, были связаны с продуктами питания, а не с кормами. Наиболее распространенными типами микотоксинов были афлатоксин B1 (8784 уведомления, что составляет 80%), общие афлатоксины (1376 уведомлений, 13%) и охратоксин А (550 уведомлений, 5%) (согласно отчету Европейской комиссии за 2018 год).

По данным Международного агентства по изучению рака (IARC) афлатоксин B_1 классифицирован как мощный канцероген для человека (группа 1) и связан с серьезными осложнениями для здоровья.

Он вызывает рак печени и острый гепатит, а также периодические вспышки острого афлатоксикоза с летальным исходом, зарегистрированные, в частности, в Кении [3, с.104].

Токсичные грибы вида *Aspergillus* способны контаминировать орехи и зерновые. Был проведен глобальный систематический обзор для извлечения данных о концентрации афлатоксинов в различных орехах. Систематический поиск в научных базах данных проводился с 2000 по 2022 год. Согласно результатам, афлатоксин B_1 (AFB_1) имел наибольшую частоту в образцах орехов. Средние концентрации общего афлатоксина (AFT) и AFB_1 в орехах были следующими: арахис (37,85, 32,82 мкг/кг), фисташки (31,42, 39,44 мкг/кг), миндаль (3,54, 3,93 мкг/кг), грецкий орех (42,27, 22,23 мкг/кг), фундук (17,33, 10,54 мкг/кг), бразильский орех (4,61, 3,35 мкг/кг) и другие орехи (26,22, 7,38 мкг/кг) [4, с. 29-39].

Китай является одним из мировых центров происхождения грецкого ореха с культурной историей, насчитывающей более 2000 лет. Экспорт грецкого ореха начался в 1921 году из Китая. В настоящее время Китай является мировым лидером по выращиванию грецкого ореха. Однако, как страна-экспортер грецких орехов Китай занимает второе место после США. В Китае есть много ресурсов и сортов грецкого ореха, но большинство из них существует в децентрализованных операциях, а уровень управления культурой и дальнейшей обработки относительно низок. Потребности в грецком орехе и продуктах из него с каждым годом возрастают как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Таким образом, потенциал развития ореховой промышленности в Китае очень велик [5, с. 244].

Грецкий орех в основном выращивается в китайских провинциях Синьцзян, Юньнань, Шаньси и Хэбэй. В 2022 году общее производство грецкого ореха достигнет 4,9 млн тонн, что является самым высоким показателем в мире. Типичными сортами являются Синьцзян 185, Синь 2 и Юньнань; сорт 185 известен своей бумажной скорлупой и высокой урожайностью. Сорт Синь 2 также отличается высокой урожайностью до 55% и хорошим вкусом. Бобы сорта Юньнань имеют лучший индекс окраски [6].

По данным FAOSTAT, производство грецкого ореха в скорлупе в Китае в 2019 году составило 2,52 млн тонн. Достаточные внутренние запасы и высокие международные цены на грецкие орехи повлияли на спрос на грецкие орехи в Китае в 2018-2019 годах, что привело к сокращению импорта.

Около 50 процентов производимых в мире грецких орехов продается в розницу, а их использование в пищевой промышленности в качестве сырья для производства ореховых масел, хлебобулочных изделий, кондитерских изделий и других подобных продуктов оценивается в 42 процента. В 2019 году производство грецких орехов в скорлупе в Китае составило 2,52 млн тонн.

На Азиатско-Тихоокеанский регион приходится примерно 36,0% мирового потребления грецкого ореха. В потреблении грецкого ореха в регионе доминирует потребление в Китае. Потребление грецкого ореха на душу населения в Китае также растет с каждым годом, в последний раз увеличившись в 10,5 раз в 2021-2022 годах [7, с. 31-38; 8].

Сельскохозяйственный сектор Китая очень восприимчив к загрязнению микотоксинами в нескольких климатических регионах страны; например, теплые или влажные условия бассейнов рек Янцзы, Хуанхэ и северо-восточного региона и их многочисленные дожди благоприятны для роста плесени и образования микотоксинов в сельскохозяйственных культурах [9, с. 196].

Гуанчжоу, один из крупных мегаполисов на юге Китая, расположен в провинции Гуандун и насчитывает более 14 миллионов человек. Из-за субтропического муссонного климата (с относительно влажной средой) Гуанчжоу с сосуществующими городскими и сельскими районами столкнулся с проблемой загрязнения пищевых продуктов AFB1. Теплые и влажные условия благоприятны для роста *A.flavus* в некоторых пищевых продуктах, таких как арахис и кукуруза. Обследование пищевых продуктов (рис, пшеничная мука, арахис и арахисовое масло, кукурузная мука и кукурузное масло, соевые бобы), подверженных загрязнению афлатоксинами, показало, что общий уровень выявления AFB_1 составлял 31,7%, с самой высокой концентрацией 39,3 мкг/кг, обнаруженной в арахисовом масле. Тем не менее, риск для здоровья местных жителей от пищевых продуктов AFB_1 был неизвестен [10, с. 63].

Для управления и контроля афлатоксинов в Китае было разработано несколько стратегий, относящихся к разным категориям. Большинство методов, используемых для предотвращения и контроля производства афлатоксинов, включают, в частности, селекцию на устойчивость, использование генной инженерии, использование агентов биологической борьбы, контроль факторов окружающей среды, методы управления полями, правильное хранение, химиопрофилактику, методы адсорбции и детоксикации. Другие методы, используемые для снижения содержания афлатоксинов, включают использование послеуборочных методов, таких как сортировка, очистка, быстрая и надлежащая сушка, борьба с насекомыми после сбора урожая, а также применение и уничтожение синтетических пестицидов и фитохимикатов.

Текущая ситуация с загрязнением и профилактикой афлатоксинов в Китае обусловлена географией, экономикой и населением страны. Из-за обширного и сложного рельефа местности экологические и климатические условия варьируются от региона к региону. Поэтому региональные различия в климате создают разные благоприятные условия для производства афлатоксина и роста грибков, продуцирующих афлатоксин. В начале XXI века почти во всех провинциях Китая было обнаружено заражение афлатоксинами таких культур, как орехи, кукуруза и зерновые. Серьезные проблемы с токсинами обычно наблюдаются в южных регионах Китая из-за обильных осадков и теплых температур,

которые благоприятствуют росту грибков, продуцирующих афлатоксины. Высокий уровень заболеваемости раком печени из-за токсинов был зарегистрирован в Гуанси.

В общей сложности 284 образца кукурузы, арахиса, риса, грецкого и кедрового ореха из провинций и городов Чунцин, Фуцзянь, Гуандун, Гуанси, Хубэй, Цзянсу, Шанхай и Чжэцзян были случайным образом отобраны на рынках.

Афлатоксин B_1 в пищевых продуктах не может служить полным показателем загрязнения афлатоксинами. Наблюдение за общим содержанием афлатоксинов в пищевых продуктах показало реальную необходимость установления национальных и международных стандартов Китая для общего содержания афлатоксинов [11, с. 305-310].

Комиссия Codex Alimentarius, Объединенная продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО) и Программа стандартов на пищевые продукты Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) совместно приняли максимальный уровень 15 мкг/кг для общего количества AFT в необработанном арахисе. Регламент Европейской комиссии (ЕС) № 1881/2006 устанавливает максимальный предел для КУМ 1 в размере 2 мкг/кг для арахиса и злаков, предназначенных для непосредственного употребления в пищу. В Китае Национальный стандарт безопасности пищевых продуктов установил предел 20 мкг/кг для AFB 1 в арахисе [12, с. 740-755].

13 мая 2020 года Китай уведомил Комитет ВТО по СФС о своем Национальном стандарте безопасности пищевых продуктов по максимальным уровням микотоксинов в продуктах питания (проект для комментариев) под номером G/SPS/N/CHN/1146. Комиссия установила предельно допустимые уровни (ПДУ) для $АФВ_1$ и АФТ в арахисе для прямого потребления на уровне 2,0 и 4,0 мкг/кг. Согласно действующим Национальным стандартам безопасности пищевых продуктов Китая, ПДК для АФВ-1 составляет 20 мкг/кг для арахиса и 5 мг/кг для других видов орехов [13].

Цель исследования – санитарная оценка грецкого ореха, импортируемого из КНР.

Для выполнения цели были поставлены следующие **задачи:**

1. Провести мониторинг импорта грецкого ореха, произрастаемых в КНР.
2. Провести органолептические и физико-химические исследования.
3. Определить уровень контаминации афлатоксина B_1 в импортируемом грецком орехе.

Материалы и методы. Научно-исследовательская работа была выполнена в лаборатории «Пищевой безопасности» кафедры Ветеринарной санитарии НАО «Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина», ТОО «Нутритест» при Академии питания им. Шарманова г. Алматы. Экспериментальные исследования проводились в период с 2021 по 2023 гг. в рамках реализации проекта №AP09058301 «Афлатоксиновое загрязнение различных орехов и разработка способов их детоксикации» МНВО РК.

Материалом исследований были грецкие орехи в скорлупе и ядра производства КНР, реализуемые на рынках г. Астана в количестве 81 проб.

Пробы отбирались с рынков «Астаналык базар», «Асем», «Алем», «Евразия-1», «Шапагат», «Шарын» и у крупного поставщика ТОО «Сарвиноз-С».

Отбор проб проводили согласно ГОСТу 16832-71 «Орехи грецкие. Технические условия», ГОСТу 33303-2015 «Продукты пищевые. Методы отбора проб для определения микотоксинов» с составлением акта отбора проб.

Органолептическую оценку и физико-химические исследования грецкого ореха проводили согласно ГОСТу 32874-2014 «Орехи грецкие ТУ». Массовую долю влаги определяли путем последовательного высушивания при температуре (130±2) °С в течение 40 мин сушильном шкафу. ГОСТом 16832-71 «Межгосударственный стандарт Орехи грецкие. Технические условия» и ГОСТ 16833-71«Ядро ореха грецкого. Технические условия».

Количественное определение афлатоксина B_1 были проведены методом ELISA с использованием тест-системы для ИФА (R5202 RIDASCREEN ® FASTAflatoxin). Для обработки результатов анализа применяли специальное программное обеспечение для тестов RIDASCREEN®: программа RIDA® SOFT Win. Количественное содержание афлатоксина B_1 проводились согласно ГОСТу 30711-2001 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения содержания афлатоксинов В1 и М1». Пробоподготовка и исследования проводились методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в испытательной лаборатории ТОО «Нутритест», расположенной в г. Алматы, аккредитованной в Государственной Системе Технического Регулирования Республики Казахстан на соответствие требованиям СТ РК ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». Мониторинг импорта грецких орехов проведен на основании данных Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам, Комитета государственных доходов Министерства финансов Республики Казахстан, Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан, полученных через портал обращений e-Otinish.

Результаты. На рынках столицы наиболее распространенными сортами грецких орехов являются «Lianoning №1» (рисунок 1), «Xifu №1» (рисунок 2), «Wen 185» (рисунок 3), «Xinzaofeng» (рисунок 4), которые ценятся своим внешним видом, вкусовыми качествами и высоким содержанием жиров.



Рисунок 1 – Сорт «Lianoning №1»



Рисунок 2 – Сорт «Xifu №1»



Рисунок 3 – Сорт «Wen 185»



Рисунок 4 – Сорт «Xinzaofeng»

Преимущества «Lianoning №1» включают гладкую поверхность орехов, высокое процентное содержание ядер, тонкую скорлупу орехов и высокий выход ядер. Сорт «Xifu №1» ценится своим высоким жирнокислотным составом. Имеет темно-коричневую, слегка плотную скорлупу. Ядра коричневого цвета.

«Wen 185» имеет очень тоненькую скорлупу с высокой долей выхода ядер, которая достигает 65-67%. Самый распространенный сорт ореха на отечественных рынках, благодаря внешнему виду. «Xinzaofeng» отличается своей гладкой, светлой и идеально ровной скорлупой. Ядро цельное, реже выходит четвертинками.

Анализируя импорт грецкого ореха на территорию Республики Казахстан, стоит отметить, что он осуществляется из нескольких стран, включая Россию, Китай, Кыргызстан, Таджикистан, Узбекистан, Украину, Чили и Турцию. Однако наибольший процент импорта приходится на Китай, который составляет около 87% от общего объема импорта грецкого ореха в страну.

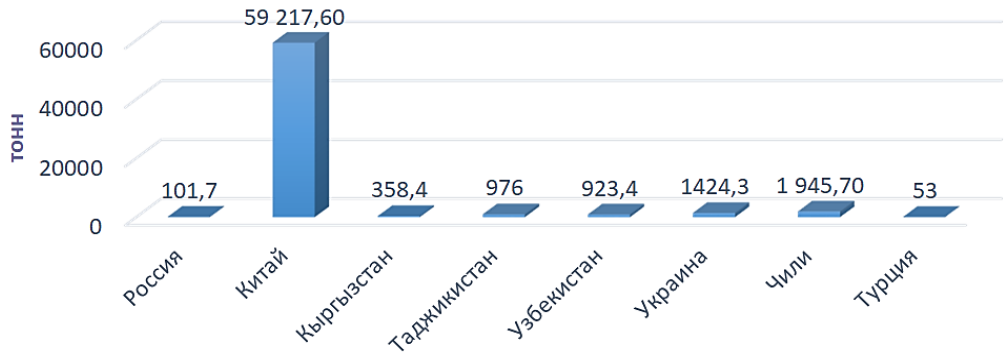


Диаграмма 1 – Объем импорта грецкого ореха в разрезе стран-импортеров

Импорт грецкого ореха из Китайской Народной Республики имеет явное преимущество перед другими источниками поставок – 59,217,60 тонн в период за 2020 по 2024 год (Диаграмма 1). Таким образом, распределение импорта грецкого ореха из различных стран указывает на превалирующую

роль Китая в поставках данного продукта на рынок Казахстана, в то время как Кыргызстан и Турция представляют сравнительно незначительную долю в общем импорте, которая колеблется от 0,2 до 0,8% от общей доли.

В ходе изучения динамики импорта грецкого ореха в Республику Казахстан, наблюдается устойчивая тенденция к росту, и данная категория орехов занимает преобладающую позицию на протяжении рассматриваемого периода. Доля грецкого ореха среди всех импортированных орехов составляет около 90%. На основе представленных данных на диаграмме 2 можно отметить, что наименьший объем импорта грецкого ореха был зафиксирован в 2020 году и составил 15 734,9 тонны.

Однако в 2021 году наблюдался пик импорта грецкого ореха из Китайской Народной Республики, и объем достиг значительной отметки в 24 565,4 тонны (Диаграмма 2). Этот рост можно связать с повышенным спросом на грецкий орех и его популярностью на рынке Казахстана.

Исследование динамики импорта грецкого ореха в Республику Казахстан имеет важное значение, поскольку обладает практической значимостью для разработки стратегий управления торговыми операциями и обеспечения стабильного снабжения рынка данной продукцией.

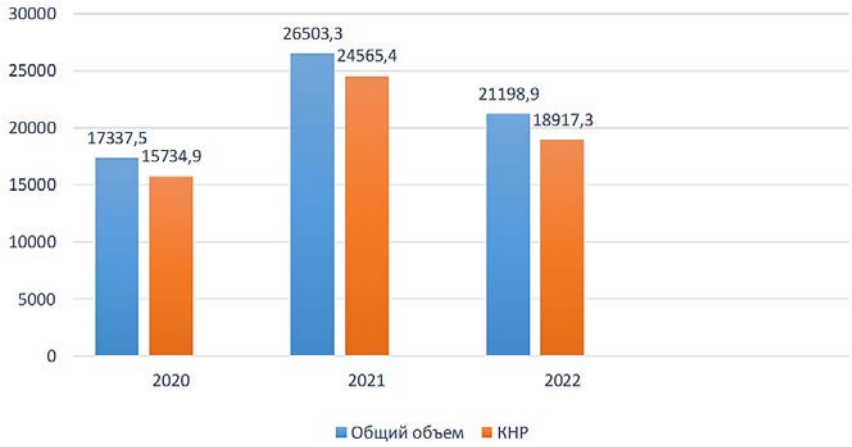


Диаграмма 2 – Объем импорта грецкого ореха из КНР в РК за 2020 по 2022 гг.

В соответствии с анализом данных, представленных на диаграмме 3, было выявлено, что на протяжении последних трех лет импорт грецкого ореха из Китайской Народной Республики (КНР) демонстрирует характерный пик в апреле и декабре. В 2020 году было зафиксировано наибольшее количество импортированного грецкого ореха в Республику Казахстан, а именно 3309,5 тонн в апреле и 3808,2 тонны в декабре.

Однако в 2021 году наблюдалось снижение доли импортированного ореха по сравнению с предыдущим годом. Наибольшие объемы грецкого ореха были ввезены в феврале (5855,7 тонн) и марте (2725,9 тонны).

Изучение диаграммы 3 подтверждает, что за последний год наблюдался общий тренд сокращения поставок китайского грецкого ореха. Особенно значительное снижение было отмечено в январе, где импорт составил 5642,1 тонны, а также в июле – 2799 тонн.

Исходя из представленных данных, можно сделать заключение, что на протяжении рассматриваемого периода импорт грецкого ореха из Китайской Народной Республики преобладает в зимние месяцы, тогда как минимальное количество ореха наблюдается в осенний период.

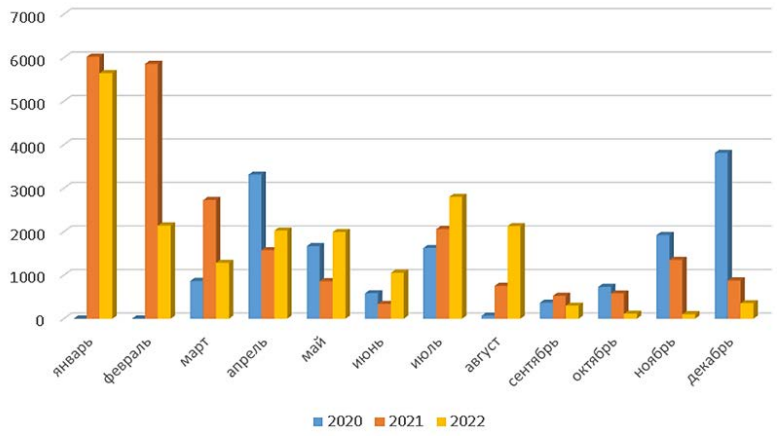


Диаграмма 3 – Динамика импорта грецкого ореха из КНР в РК в разрезе за 2020 по 2022 годы

Из данных диаграммы 4, касаемо импорта грецкого ореха из КНР в г. Астана предоставленные Комитетом государственных доходов Министерства финансов Республики Казахстан, следует, что за 2020 год импорт грецкого ореха в г. Астана составил 176,9 тонн. (239,8 тыс.долл. США). Наибольшая доля импортных орехов в столицу пришла на 2021 год и составила 2 367,0 тонн, что оценивается на 2 046,2 тыс.долл.США.

Резкий рост поступления данного ореха из КНР возможен с открытием границ между Китаем и Казахстаном после снятия карантинных ограничений в связи с пандемией. За 2022 год импорт грецкого ореха значительно снизился и составил лишь 370,8 тонн. на сумму 458,3 тыс.долл.США.

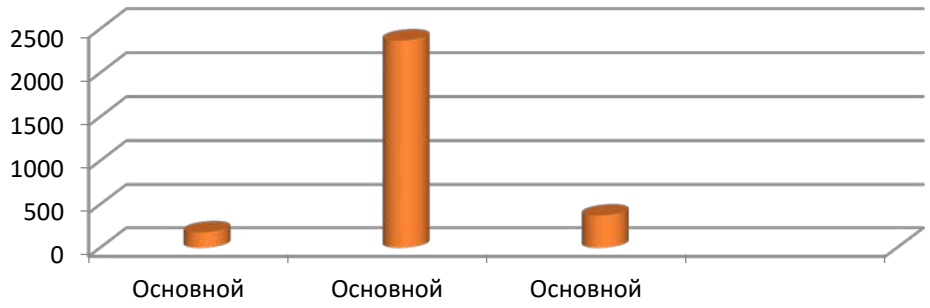


Диаграмма 4 – Динамика импорта грецкого ореха из КНР в город Астана за 2020-2022 годы

По органолептическим показателям грецких орехов на рынках г. Астана, большинство исследованных проб удовлетворяют требования, предъявляемые к орехам согласно принятым стандартам. Большинство орехов имеют хорошо сформированную скорлупу, запах и вкус достаточно выраженный и соответствующий виду ореха. Скорлупа не поврежденная, целая, от бежевого до светло коричневого цвета.

Отклонения были обнаружены лишь по показателю внешней оболочки ядра в 35 пробах грецкого ореха в скорлупе в виде белого налета, темных пятен, впадин. Плесневелых орехов не было обнаружено.

В ходе исследования физико-химических свойств грецких орехов была проведена оценка основных показателей, а именно наличие ломанных и поврежденных ядер, содержания примесей и массовой доли влаги. Результаты показали, что содержание этих примесей варьировалось от 0,20 до 1,00%. Кроме того, в девяти образцах очищенного грецкого ореха были обнаружены трещины и механически поврежденные ядра. Анализ этих образцов показал наличие сухих, недоразвитых и поврежденных ядер в соотношении от 0,67% до 1,20%.

Содержание влаги является одним из важных параметров, характеризующих качество грецкого ореха. Двадцать образцов грецких орехов, произведенных в КНР, были проанализированы и обнаружили, что содержание влаги в них варьируется от 7,21% до 15,90%. Следует отметить, что эти значения превышали максимально допустимое значение в 12%.

По результатам таблицы 1, можно установить наличие афлатоксина B_1 в отобранных образцах грецкого ореха. Обнаружены как следовые концентрации данного микотоксина, так и превышения предельно-допустимой концентрации в 39 пробах грецкого ореха в скорлупе и 5 проб очищенного грецкого ореха. Максимальное значение афлатоксина B_1 составило 0,45 мг/кг в одной пробе и 0,27 мг/кг в другой.

Таблица 1 – Результаты афлатоксинового загрязнения орехов, производства КНР

Количество проб	Место отбора	Афлатоксины, мг/кг	МДУ по ТР ТС «О безопасности пищевой продукции» 021/2011, мг/кг	МДУ по регламенту Комиссии ЕС №1881-2006, мг/кг
n=15	Асем	0,002±0,0013	Не более 0.005	B_1-0,002-0,008
n=5	Алем	0,27±0,026	Не более 0.005	B_1-0,002-0,008
n=3	Шапагат	-	Не более 0.005	B_1-0,002-0,008
n=9	Евразия-1	0,0017±0,00012	Не более 0.005	B_1-0,002-0,008
n=7	Шанхай	0,04±0,0023	Не более 0.005	B_1-0,002-0,008
n=12	Шарын	0,007±0,0171	Не более 0.005	B_1-0,002-0,008
n=20	Астаналык базар	0,45±0,00643	Не более 0.005	B_1-0,002-0,008
n=10	Сарвиноз-С	0,0064±0,0031	Не более 0.005	B_1-0,002-0,008

Обсуждение. На образование афлатоксина влияют несколько факторов: включая химические, биологические и физические. Физические факторы – это влага и температура, тогда как биологические включают патогены [11, с. 305-310; 13, с. 525-529].

По результатам исследований установлено превышение концентрации афлатоксина B_1 установлено в 39 пробах грецкого ореха в скорлупе и в 5 пробах очищенного грецкого ореха от 0,007±0,0171 до 0,45±0,00643 мг/кг на рынках «Алем», «Шарын», «Астаналык базар».

Некоторые из них, влияющие на производство афлатоксинов в Китае, изучали Лу и соавт. (2010). Они обнаружили, что многочисленные ферменты, такие как пероксидаза, дегидрогеназа, циклаза, оксидоредуктаза и метилтрансфераза выполняют ключевую функцию в биосинтезе афлатоксинов. Действие этих ферментов может непосредственно влияет на выход афлатоксина.

Риски для здоровья при употреблении орехов при контаминации афлатоксином В $_1$: описаны во многих научных трудах [15, с. 13-55; 16, с. 186; 17, с. 913-925].

Исследование, проведенное Лю и другие. (2017) проанализировали влияние нескольких питательных веществ на продукцию AFB1 грибами. Авторы обнаружили, что некоторые питательные вещества, то есть витамины, аминокислоты, минералы (такие как цинк), источник энергии (особенно в виде крахмала) и жирные кислоты также необходимы для производства афлатоксинов. Эти результаты были подтверждены результатами более раннего исследования проведенный Ма и соавт. (2015), которые уже указывали, что содержание субстрата и состав питательных веществ могут быть ключевым фактором, влияющим на продукцию AFB1.

Импортируемые орехи в Казахстан не исследуются на афлатоксин В1, на местах таможенной зоны. При импорте орехов по правилам охраны территории Республики Казахстан от карантинных объектов и чужеродных видов на импортируемые орехи выдается акт карантинного фитосанитарного контроля, так как орехи подкарантинная продукция [18]. Отбор образцов на анализ и экспертизу (амбарные вредители) осуществляются государственными инспекторами по карантину растений. К сожалению, должного контроля и проверки сертификатов соответствия качества у нас нет.

Эти значения строго регулируются таможенными органами, которые запрещают импорт в страну при наличии официального уведомления (зарегистрированного в системе RASFF Window) с указанием результата теста в случае его превышения.

В период с 2020 по 2022 год система RASFF Window выявила 34 нарушения с максимальной концентрацией 75,88 мкг/кг афлатоксина В1 в фундуке из Китая. Наибольшее количество уведомлений на орехи из КНР было отмечено в 2020 году, где насчитывалось 15 уведомлений о превышении за год. Главным основанием для оповещения данного уведомления является пограничный контроль, где в случае превышения груз задерживают и запрещают для ввоза в страну. Страны, которые выставляли данные оповещения на орехи китайского производства являются: Италия, Испания, Нидерланды, Финляндия, Германия, Франция, Польша.

На основании полученных данных, в период 2022 года в филиалах РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» поступило 20 проб на определение афлатоксина B_1 в орехах, где несоответствующие пробы отсутствуют.

Комитет санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан предоставил информацию, что за последние три года (2020-2022 года) на территории Республики Казахстан случаев афлотоксикоза не зарегистрировано.

Установлена прямая корреляция между высоким содержанием массовой доли влаги и контаминацией орехов афлатоксином B_1 (диаграмма 5).

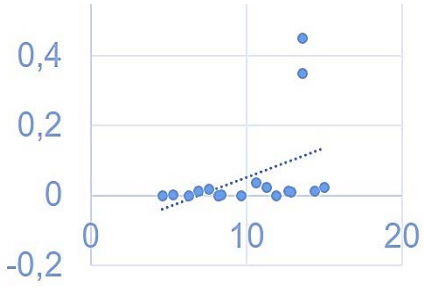


Диаграмма 5 – Корреляция массовой доли влаги и афлатоксина B_1

В свою очередь заинтересованные страны в импорте арахиса на 15-й сессии Комитета Кодекса по загрязняющим примесям в пищевых продуктах (CCCF15) предлагают установить МДУ афлатоксинов на уровне 10 и 15 мкг/кг. Председатель Комитета приняла решение установить МДУ общего афлатоксина 10 мкг/кг. Резервацию выразили Казахстан, Евросоюз, Сингапур и Египет.

При ознакомлении с сопроводительными документами крупного поставщика ТОО «Сарвиноз-С» установлено, что через Россию (декларация соответствия ЕЭС) импортируются орехи производства КНР (миндаль, грецкие орехи, кешью, арахис), Вьетнама (кешью очищенный, арахис), Индия (арахис),

Азербайджан (фундук), Бразилия (арахис) и т.д. Однако, в документациях поставщиком указываются корпорации Российской Федерации, а изготовителем грецкого ореха является КНР.

Заключение. В результате исследования было определено, что уровни загрязнения афлатоксинами грецких орехов из КНР, реализуемых на рынках г. Астана превышают предельно-допустимые уровни. По органолептическим показателям в 35 пробах грецких орехов в скорлупе («Шарын», «Шанхай», «Астаналык базар», «Асем») отмечалось наличие белого налета, темных пятен и впадин (второй сорт).

Превышение массовой доли влаги было установлено 20 образцах грецких орехов («Шапагат», «Шарын», «Астаналык базар») от 12,21±0,396 до 15,90±0,455%.

Превышение концентрации афлатоксина B_1 установлено в 39 пробах грецкого ореха в скорлупе и в 5 пробах очищенного грецкого ореха от 0,007±0,0171 до 0,45±0,00643 мг/кг на рынках «Алем», «Шарын», «Астаналык базар».

Импортируемые орехи не исследуются на афлатоксин B_1, как на местах таможенной зоны, так и на местах реализации.

Информация о финансировании. Научно-исследовательская работа выполнялась в рамках бюджетной программы: 217 «Развитие науки» подпрограмме 102 «Грантовое финансирование научных исследований» научного проекта молодых ученых на тему: 5-21/МУ23 «Афлатоксиновое загрязнение различных орехов и разработка способов их детоксикации».

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1 **Baer D. J., Gebauer S. K., Novotny J. A. Walnuts consumed by healthy adults provide less available energy than predicted by the Atwater factors** The Journal of nutrition [Text] / D. J. Baer, S. K.Gebauer, J. A.Novotny //. – 2016. – Т. 146. – №. 1. – С. 9-13.

2 **Schlörmann W. et al. In vitro fermentation of nuts results in the formation of butyrate and c 9, t 11 conjugated linoleic acid as chemopreventive metabolites** [Text] / W. Schlörmann et al. // European journal of nutrition. – 2016. – Т. 55. – №. 6. – С. 2063-2073.

3 **021/2011 О безопасности пищевой продукции: Технический регламент Таможенного союза. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года.** [Текст] – 2011. – с. 104

4 **Leslie J. F., Bandyopadhyay R., Visconti A. (ed.). Mycotoxins: detection methods, management, public health and agricultural trade** [Text] / J. F. Leslie, R. Bandyopadhyay, A. Visconti (ed.) // *4thEdn. Oxford: Cabi*. – 2008. – p.29–39.

5 **Соболева О. М., Гоппе А. И. Безопасность пищевого сырья и продуктов** [Текст]: учебное пособие / О. М. Соболева, А. И. Гоппе – Кемерово: Кузбасская ГСХА, 2018. – 244 с.

6 **Китайская ассоциация грецкого ореха** // chinanuts.org. сайт. – [Электронный ресурс] URL: https://chinanuts.org/ (дата обращения:25.07.2026).

7 **Tian J. et al. Development and prospects of the walnut industry in China** [Text] / J. Tian et al. // VI International Walnut Symposium 861. – 2009. – С.31-38.

8 **Рынок грецких орехов – рост, тенденции, влияние covid-19 и прогнозы (2023–2028 гг.)** // [Электронный ресурс] URL: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/walnut-market (дата обращения: 13.08.2026).

9 **Wu S. et al. The effects of cultivar and climate zone on phytochemical components of walnut (Juglans regia L.)** [Text] / S. Wu et al. // Food and Energy Security. – 2020. – Т. 9. – №. 2. – С. 196.

10 **Wu L. et al. Aflatoxin B1, zearalenone and deoxynivalenol in feed ingredients and complete feed from different Province in China** [Text] / **L. Wu et al.** // Journal of Animal Science and Biotechnology. – 2016. – Т. 7. – №. 1. – С. 63.

11 **Kew M. C. Aflatoxins as a cause of hepatocellular carcinoma** [Text] / M. C. Kew // Journal of Gastrointestinal & Liver Diseases. – 2013. – Т. 22. – №. 3. – С. 305-310.

12 **Khlangwiset P., Shephard G. S., Wu F. Aflatoxins and growth impairment: a review** [Text] / P. Khlangwiset, G. S. Shephard, F. Wu // Critical reviews in toxicology. – 2011. – Т. 41. – №. 9. – С. 740-755.

13 **Tsaregorodtseva E. V. et al. Approaches to safety and quality of foodstuffs in the European Union and Russia** [Text] / E. V. Tsaregorodtseva et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2020. – Т. 421. – №. 3. – С. 032003.

14 **Al-Gabr H. M., Zheng T., Yu X. Inactivation of Aspergillus flavus in drinking water after treatment with UV irradiation followed by chlorination** [Text] / H. M. Al-Gabr, T. Zheng, X. Yu // Science of the total Environment. – 2013. – Т. 463. – С.525-529.

15 **Eneroth H. et al. Risks and benefits of increased nut consumption: Cardiovascular health benefits outweigh the burden of carcinogenic effects attributed to aflatoxin b1 exposure** [Text] / H. Eneroth et al. // Nutrients. – 2017. – Т. 9. – №. 12. – С. 13-55.

16 **Pickova D., Ostry V., Malir F. A recent overview of producers and important dietary sources of aflatoxins** [Text] / D. Pickova, V. Ostry, F. Malir // Toxins. – 2021. – Т. 13. – №. 3. – С. 186.

17 **Martins C. et al. Exposure assessment of Portuguese population to multiple mycotoxins: The human biomonitoring approach** [Text] / C. Martins et al. // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2019. – Т. 222. – №. 6. – С. 913-925.

18 **Об утверждении правил по охране территории Республики Казахстан карантинных объектов и чужеродных видов**. Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». – [Электронный ресурс] – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012032 (дата обращения:18.11.2025).

REFERENCES:

1 **Baer D.J., Gebauer S.K., Novotny J.A. Walnuts consumed by healthy adults provide less available energy than predicted by the Atwater factors.** *The Journal of Nutrition*, 2016, vol. 146, no. 1, pp. 9-13.

2 **Schlörmann W. et al. In vitro fermentation of nuts results in the formation of butyrate and c9,t11 conjugated linoleic acid as chemopreventive metabolites**. *European Journal of Nutrition*, 2016, vol. 55, no. 6, pp. 2063-2073.

3 **021/2011 O bezopasnosti pishhevoj produkcii: Tehnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza. Resheniem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 9 dekabrya 2011 goda** [021/2011 On Food Safety: Technical Regulations of the Customs Union. Approved by decision of the Customs Union Commission dated December 9, 2011]. 2011, 104 p. (In Russian)

4 **Leslie J.F., Bandyopadhyay R., Visconti A. (eds.).** ***Mycotoxins: Detection Methods, Management, Public Health and Agricultural Trade.*** 4th ed. Oxford, CABI, 2008, pp. 29-39.

5 **Soboleva O.M., Goppe A.I. Bezopasnost' pishhevogo syr'ya i produktov** [Safety of food raw materials and products]. Kemerovo, Kuzbasskaya GSHA, 2018, 244 p. (In Russian)

6 **Kitajskaya associaciya greckogo oreha** [China Walnut Association]. Available at: https://chinanuts.org/ (accessed 25 July 2026). (In Russian)

7 **Tian J. et al. Development and prospects of the walnut industry in China.** *VI International Walnut Symposium 861*, 2009, pp. 31-38.

8 **Ry'nok greckih orehov – rost, tendencii, vliyanie COVID-19 i prognozy' (2023–2028 gg.)** [Walnut Market – Growth, Trends, Impact of COVID-19, and Forecasts (2023–2028)]. Available at: https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/walnut-market (accessed 13 August 2026). (In Russian)

9 **Wu S. et al. The effects of cultivar and climate zone on phytochemical components of walnut (*Juglans regia* L.).** *Food and Energy Security*, 2020, vol. 9, no. 2, p. 196.

10 **Wu L. et al. Aflatoxin B1, zearalenone and deoxynivalenol in feed ingredients and complete feed from different Province in China.** *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2016, vol. 7, no. 1, p. 63.

11 **Kew M.C. Aflatoxins as a cause of hepatocellular carcinoma.** *Journal of Gastrointestinal & Liver Diseases*, 2013, vol. 22, no. 3, pp. 305-310.

12 **Khlangwiset P., Shephard G.S., Wu F. Aflatoxins and growth impairment: a review.** *Critical Reviews in Toxicology*, 2011, vol. 41, no. 9, pp. 740-755.

13 **Tsaregorodtseva E.V. et al. Approaches to safety and quality of foodstuffs in the European Union and Russia.** *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 421, no. 3, art. 032003.

14 **Al-Gabr H.M., Zheng T., Yu X. Inactivation of *Aspergillus flavus* in drinking water after treatment with UV irradiation followed by chlorination.** *Science of the Total Environment*, 2013, vol. 463, pp. 525-529.

15 **Eneroth H. et al. Risks and benefits of increased nut consumption: Cardiovascular health benefits outweigh the burden of carcinogenic effects attributed to aflatoxin B1 exposure.** *Nutrients*, 2017, vol. 9, no. 12, pp. 13-55.

16 **Pickova D., Ostry V., Malir F. A recent overview of producers and important dietary sources of aflatoxins.** *Toxins*, 2021, vol. 13, no. 3, p. 186.

17 **Martins C. et al. Exposure assessment of Portuguese population to multiple mycotoxins: The human biomonitoring approach.** *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2019, vol. 222, no. 6, pp. 913-925.

18 **Ob utverzhdenii Pravil po ohrane territorii Respubliki Kazahstan ot karantinny'h ob''ektov i chuzherodny'h vidov** [On approval of the Rules for the protection of the territory of the Republic of Kazakhstan from quarantine objects and alien species]. Informacionno-pravovaya sistema normativny'h pravovy'h aktov Respubliki Kazakhstan «Adilet». Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012032 (accessed 18 November 2025). (In Russian)

Дата поступления: 18 января 2026 г. **Принято:** 03 апреля 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Аутелеева Лаура Тюлегеновна – PhD, ассоциированный профессор Института «Науки о животных и ветеринарии», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010008, г. Астана, ул. Армандастар 2Б, тел.: 87017708714, e-mail: l.auteleeva@kazatu.edu.kz.*

Майканов Балгабай Садепович – д.б.н., профессор Института «Науки о животных и ветеринарии», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010008, г. Астана, ул. Армандастар 2Б, тел.: 87017660359, e-mail: b.maykanov@kazatu.edu.kz.

Смагулова Аяна Сардарбековна – магистр ветеринарных наук, PhD докторант, «Евразийский Национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Республика Казахстан, 010008, г. Астана, ул. Кажымукана 13, тел.: 87471879228, e-mail: smagulovaayana28@gmail.com.

Аутелеева Лаура Тюлегеновна – PhD, қауымдастырылған профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы 010008, Астана қ., Армандастар көш 2Б, тел.: 87017708714,e-mail: l.auteleeva@kazatu.edu.kz.*

Майқанов Балгабай Садепович – биология ғылымдарының докторы, профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы 010008 Астана қ., Армандастар көш 2Б, тел.: 87017660359, e-mail: b.maikanov@kazatu.kz.

Смагулова Аяна Сардарбековна – ветеринария ғылымдарының магистрі, PhD докторанты, «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті», Қазақстан Республикасы, 010008 Астана қ., Қажымұқан көш 13, тел.: 87471879228; e-mail: smagulovaayana28@gmail.com.

Auteleyeva Laura Tyulegenovna – PhD, Associate Professor, Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010008, Astana, 2B Armandastar Str., tel.: 87017708714, e-mail: l.auteleeva@kazatu.edu.kz.*

Maikanov Balgabay Sadepovich – Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Animal Science and Veterinary Medicine, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010008, Astana, 2B Armandastar Str., tel.: 87017660359, e-mail: b.maykanov@kazatu.edu.kz.

Smagulova Ayana Sardarbekovna – Master of Veterinary Sciences, PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, 010008, Astana, 13 Kazhymukan Str., tel.: 87471879228, e-mail: smagulovaayana28@gmail.com.

IRSTI 34.39.39
UDC 636.52 /.58:612.12
https://doi.org/10.52269/SEPT2631043

PHYSIOLOGICAL FEATURES OF THE HORMONAL STATUS OF THE THYROID GLAND IN BEEF COWS

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.

Ragatova A.Zh. – PhD, Senior Lecturer, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Murzakayeva G.K. – PhD, Senior Lecturer, Department of veterinary sanitation, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

An evaluation of the correlation between AST enzymatic activity as a marker of mitochondrial function and the concentration of thyroid hormones present in the bloodstream of Kazakh white-headed cattle is presented. It was observed that the requirement for the physiological effects of triiodothyronine in the organism diminishes from the onset to the conclusion of the first month of lactation, which is substantiated by a reduction in the hormone concentration in the blood ranging from 1.89 to 4.02 times. Conversely, the mitochondrial activity within the cells of these animals exhibits an increase of 9.21 to 35.74%, which underscores the adaptive potential of energy-producing mechanisms.

This inverse relationship highlights a complex metabolic adaptation. While thyroid hormones are key metabolic regulators, the observed dynamics suggest a shift in energy substrate utilization. The rising AST activity indicates enhanced cellular respiration efficiency, possibly compensating for the lower hormonal stimulation. This ensures stable energy production for lactation demands. Further research should focus on the molecular mechanisms behind this mitochondrial compensation and its long-term impact on cattle

productivity and health in the postpartum period. Understanding these processes is crucial for optimizing animal husbandry practices.

Keywords: *cows; lactational physiology, aspartate aminotransferase, triiodothyronine hormone.*

ЕТТІ СИЫРЛАРДАҒЫ ҚАЛҚАНША БЕЗІНІҢ ГОРМОНАЛДЫ КҮЙІНІҢ ФИЗИОЛОГИЯЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

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

Ергазина А.М. – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасы профессорының ассистенті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Рагатова А.Ж. – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасының аға оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мурзакаева Г.К. – PhD докторы, ветеринарлық санитария кафедрасының аға оқытушысы, «С.Сейфуллин атындағы қазақ Агротехникалық Зерттеу Университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Митохондриялық функцияның маркері ретінде АсАт ферментативті белсенділігі мен қазақтың ақбас ірі қара малының қанында болатын қалқанша безінің гормондарының концентрациясы арасындағы корреляцияны бағалау ұсынылған. Триодотрониннің организмдегі физиологиялық әсеріне деген қажеттілік лактацияның бірінші айының басынан аяғына дейін төмендейтіні байқалды, бұл қандағы гормон концентрациясының 1,89-дан 4,02 есеге дейін төмендеуімен негізделген. Керісінше, бұл жануарлардың жасушаларында митохондриялық белсенділік 9,21-ден 35,74% – ға дейін артады, бұл энергия өндіретін механизмдердің бейімделу әлеуетін көрсетеді.

Бұл кері байланыс метаболизмнің күрделі бейімделуін көрсетеді. Қалқанша безінің гормондары метаболизмнің негізгі реттеушілері болғанымен, байқалған динамика энергетикалық субстраттарды пайдаланудың өзгеруін көрсетеді. АсАТ белсенділігінің жоғарылауы жасушалық тыныс алу тиімділігінің жоғарылауын көрсетеді, мүмкін гормоналды ынталандырудың төмендеуін өтейді. Бұл лактация талаптары үшін тұрақты энергия өндіруді қамтамасыз етеді. Әрі қарайғы зерттеулер осы митохондриялық компенсацияның негізінде жатқан молекулалық механизмдерге және оның босанғаннан кейінгі кезеңдегі ірі қара малдың өнімділігі мен денсаулығына ұзақ мерзімді әсеріне бағытталуы керек. Бұл процестерді түсіну мал шаруашылығы тәжірибесін оңтайландыру үшін өте маңызды.

Түйінді сөздер: *сиырлар, лактация физиологиясы, аспартатаминотрансфераза, трийодтиронин гормоны.*

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРМОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У МЯСНЫХ КОРОВ

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

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

Рагатова А.Ж. – PhD доктор, старший преподаватель кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Мурзакаева Г.К. – PhD доктор, старший преподаватель кафедры ветеринарной санитарии, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Представлена оценка корреляции между ферментативной активностью АсАТ как маркера функции митохондрий и концентрацией гормонов щитовидной железы, присутствующих в крови казахского белоголового крупного рогатого скота. Было замечено, что потребность организма в физиологическом воздействии трийодтиронина уменьшается с начала и до конца первого месяца лактации, что подтверждается снижением концентрации гормона в крови в диапазоне от 1,89 до 4,02 раза. Напротив, митохондриальная активность в клетках этих животных увеличивается с 9,21 до 35,74%, что подчеркивает адаптивный потенциал механизмов производства энергии.

Эта обратная зависимость указывает на сложную метаболическую адаптацию. Хотя гормоны щитовидной железы являются ключевыми регуляторами обмена веществ, наблюдаемая динамика свидетельствует о сдвиге в использовании энергетических субстратов. Повышение активности АсАТ указывает на повышение эффективности клеточного дыхания, что, возможно, компенсирует снижение гормональной стимуляции. Это обеспечивает стабильную выработку энергии для удовлетворения потребностей в период лактации. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на молекулярных механизмах, лежащих в основе этой митохондриальной компенсации, и её долгосрочном влиянии на продуктивность и здоровье крупного рогатого скота в послеродовой период. Понимание этих процессов имеет решающее значение для оптимизации методов ведения животноводства.

Ключевые слова: *коровы, физиология лактации, аспартатаминотрансфераза, гормон трийодтиронин.*

Introduction. The transition from gestation to lactation in bovine species represents a critical phase characterized by the initiation of profound metabolic adaptations [1, p. 1-2; 2, p. 9602-9603]. This period is associated with a significant escalation in energy and protein requirements to support the onset of milk synthesis. The successful metabolic acclimatization to lactation depends on a complex cascade of endocrine-regulated physiological transformations, which progress gradually and exhibit considerable variation depending on genetic lineage, productivity level, and parity, suggesting a substantial influence of hereditary determinants on these adaptive mechanisms [1, p. 1-2; 2, p. 9602-9603; 5, p. 4-5].

Thyroid hormones, particularly triiodothyronine (T3), play a pivotal role in orchestrating these adaptive processes by modulating cellular metabolism through genomic influences mediated by nuclear transcription factors [3, p. 236-238; 4, p. 1382–1383; 5, p. 4-5]. These transcription factors, in turn, regulate mitochondrial function and biogenesis, thereby governing energy production and thermogenesis, which is reflected in the rate of endogenous heat production [6, p. 545-547; 7, p. 336-338]. Studies in dairy cows have confirmed that regulative processes within thyroid hormone metabolism occur during early lactation, with T4 concentrations decreasing after calving and milk yield negatively correlated with T3 and T4 levels [14, p. 100-105]. Additionally, the number of lactations and total milk yield correlate with blood thyroid hormone concentrations, indicating that the reproductive history of the animal influences its hormonal status.

However, while these foundational concepts are well-documented in dairy cattle [1, p. 1419; 2, p. 9602-9603], it is critical to recognize that beef cattle, particularly breeds managed under suckling systems, exhibit fundamentally distinct metabolic characteristics. In dairy cows, the onset of lactation is accompanied by a pronounced negative energy balance, intensive lipolysis, and high growth hormone levels primarily to support maximal milk synthesis. In contrast, beef cows are selected for efficient weight gain and calf growth rather than high milk yield. Under natural suckling conditions, the metabolic load is distributed differently: calves consume milk in frequent small portions, providing a physiological stimulation of the mammary gland distinct from machine milking, while the cow's energy is partitioned between lactation and maternal investment [5, p. 4-5]. Furthermore, in Kazakh White-headed cows, calving typically occurs in February-March, coinciding with the cold season, which imposes additional energy demands for thermoregulation [5, p. 4-5]. This implies that beef cows rely more heavily on mobilization of body fat reserves to meet energy needs during early lactation, making thyroid hormones – key regulators of thermoregulation and intracellular metabolism – particularly important for resource distribution [10, p. 295; 11, p. 103-105; 12, p. 141-143].

To evaluate the functional status of mitochondrial energy metabolism, the activity of aspartate aminotransferase (AST) is commonly employed as a marker. AST is a key enzyme involved in amino acid metabolism and gluconeogenesis, and its activity is closely linked to mitochondrial functional capacity [8, p. 625-627; 9, p. 4-6; 10, p. 295]. Previous studies have demonstrated that AST activity reflects the efficiency of cellular respiration and energy synthesis, making it a valuable indicator of the adaptive potential of energy-producing mechanisms under conditions of metabolic stress [8, p. 625-627; 9, p. 4-6; 10, p. 295].

Despite the recognized importance of thyroid hormones and mitochondrial function in metabolic adaptation, the specific interplay between these systems in beef cows during early lactation remains insufficiently explored. The majority of existing research focuses on dairy breeds, while the physiological features of hormonal regulation in beef cattle under suckling management are poorly characterized [5, p. 4-5; 11, p. 103-105]. This knowledge gap underscores the need for breed-specific investigations that consider the unique metabolic demands and environmental conditions faced by beef cows in the postpartum period.

Therefore, the objective of our study was to assess the correlation between aspartate aminotransferase (AST) activity, serving as a marker for mitochondrial function, and the concentration of circulating thyroid hormones in the bloodstream of Kazakh White-headed cattle during the first month of lactation, with particular attention to the influence of parity on these parameters.

Although the general principles of metabolic adaptation during lactation are known from dairy studies, the specific physiological features of thyroid regulation in beef cows under suckling management remain poorly understood, necessitating breed-specific investigation.

Objective, tasks. The aim of this study was to investigate the adaptive metabolic interplay between thyroid hormonal regulation and mitochondrial energy metabolism in beef cattle during the critical transition to lactation.

To achieve this aim, the following specific objectives were set:

1. to determine the dynamics of blood serum triiodothyronine (T3) concentration in Kazakh white-headed cows from parturition to the end of the first month of lactation.

2. to assess the activity of aspartate aminotransferase (AST) as a marker of mitochondrial function in the blood serum of the same animals over the same postpartum period.

3. to analyze the correlation and inverse relationship between the circulating levels of thyroid hormone (T3) and AST activity in relation to the stage of early lactation.

4. to evaluate the influence of parity (number of calvings) on the investigated parameters of hormonal status and mitochondrial activity.

Materials and methods. The investigation was conducted in 2025 at Olzha-Borovskoye LLP and involved the formation of three experimental groups (n=10) from recently calved cows of the Kazakh White-Headed breed. The first group included animals after their second calving at the age of 3 years; the second group consisted of cows after their third calving at the age of 5 years; and the third group comprised cows after their sixth calving at the age of 8 years.

All cows post-calving were engaged in suckling and were provided with a complete mixed feed ration bi-daily. They had unrestricted access to water, which was maintained at a temperature of 15 °C.

Blood samples for analytical purposes were procured from the cows in the morning prior to feeding, from which blood serum was derived; in this serum, the activity of aspartate aminotransferase and the levels of triiodothyronine were quantified utilizing commercially available reagent kits. Blood samples were collected immediately post-calving and at the conclusion of the first month of lactation.

Statistical data processing was carried out using the Microsoft Excel spreadsheet processor and the «Biometrics» application software packages. To assess the relationship between the variables, the Pearson correlation coefficient (r) was calculated.

Results and discussion. The biologically active thyroid hormone triiodothyronine is pivotal in the metabolic acclimatization of cows to lactation by modulating the rate of nutrient assimilation [1, p. 1419; 2, p. 9602-9603]. The findings regarding the concentration of triiodothyronine in the bloodstream of Kazakh white-headed cows during the early postpartum phase are illustrated in Figure 1. Consequently, in cows during the early lactation phase, specifically immediately following calving, the concentration of triiodothyronine in the blood exhibited an increase correlated with the number of reproductive cycles previously experienced. The disparity between the first and third groups was observed to be 1.56 times. This suggests that with advancing age, the requirement for the biological actions of the hormone in the development of lactation metabolism escalates. This phenomenon may be attributed to an augmentation in the quantity of target cells and triiodothyronine receptors within the organisms of these animals, potentially resulting from an increase in their overall body weight [7, p. 337-338].

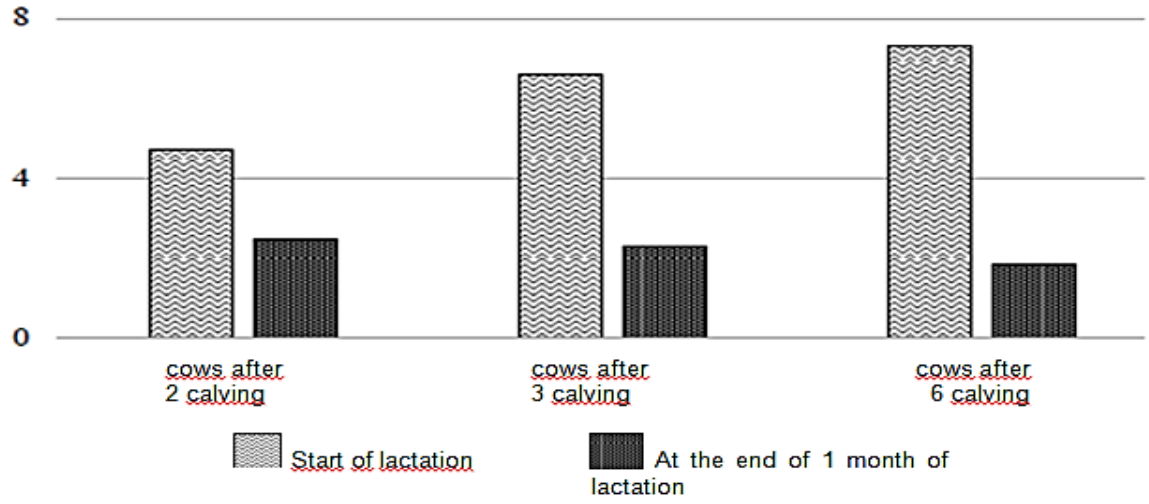


Fig.1. Triiodothyronine (nmol/l) levels in the blood of cows in the early postpartum period depending on the number of calvings

At the termination of the first month of lactation, the concentration of triiodothyronine in the blood of the cows exhibited a decline ranging from 1.89 to 4.02 times. Concurrently, an inverse correlation with the frequency of calvings was noted: the greater the number of reproductive cycles experienced, the lower the concentration of the hormone in the bloodstream. This may suggest an enhancement in the organism's

capacity to adapt to metabolic fluctuations associated with the influences of thyroid hormones, potentially attributable to improved regulation of heat production.

To evaluate the mitochondrial activity of cells within the bovine organism, the activity of aspartate aminotransferase (AST) was assessed [8, p. 628-630; 9, p. 6-8; 10, p. 3-5; 11, p. 105-106; 12, p. 142-143; 13, p. 85-87]. The variability in its concentration within the blood of the animals is depicted in Figure 2. Thus, the activity of AST, similarly to triiodothyronine, was higher at the commencement of lactation in the blood of cows that had a greater number of reproductive cycles. The differences observed between the groups amounted to 29.37%.

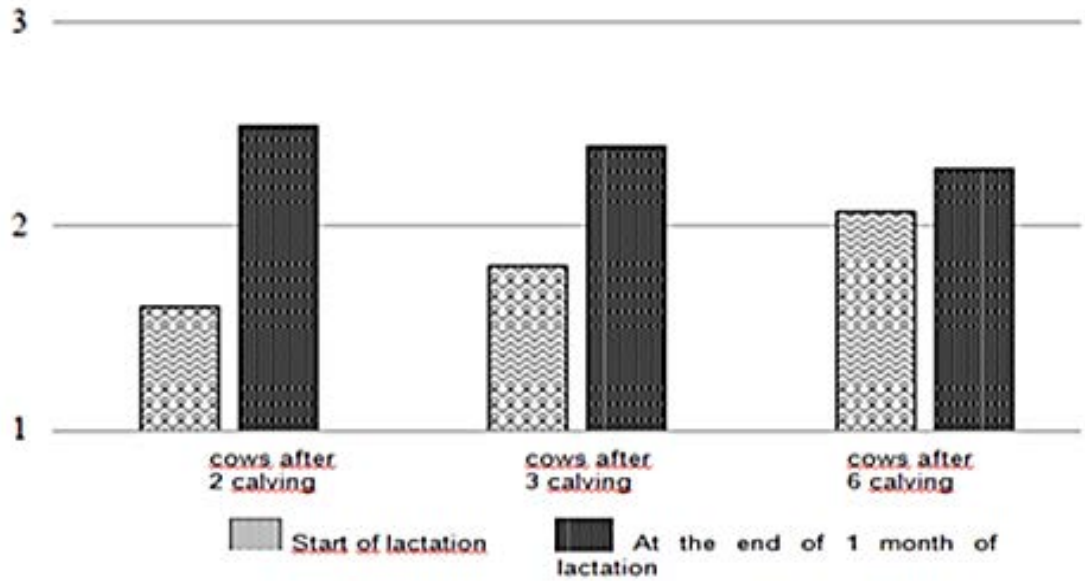


Fig. 2. AST activity (U/L) in the blood of cows
in the early postpartum period depending on the number of calvings

During the lactation period, the activity of aspartate aminotransferase (AST) exhibited an augmentation ranging from 9.21% to 35.74% (refer to Fig. 2), indicative of enhanced mitochondrial functional capacity and subsequent energy synthesis, respectively [8, 628-630; 9, p. 6-8; 10, p. 3-5]. Concurrently, the elevation in catalytic activity was observed to be diminished in bovine subjects with extended histories of reproductive cycles.

While the foundational concepts of metabolic adaptation during the transition period and the regulatory role of thyroid hormones have been extensively documented in dairy cattle [1, p. 1-2; 2, p. 9605-9607], it is critical to acknowledge that beef cattle, particularly the Kazakh White-headed breed under suckling management, exhibit fundamentally distinct metabolic characteristics.

In dairy cows, the onset of lactation is accompanied by a pronounced negative energy balance, intensive lipolysis, and a pronounced shift in endocrine profiles, with high growth hormone and low insulin levels, primarily to support maximal milk synthesis [1, p. 1-2; 2, p. 9605-9607]. In contrast, beef cows are selected for efficient weight gain and calf growth rather than high milk yield. Under natural suckling conditions, the metabolic load is distributed differently: calves consume milk in frequent small portions, providing a physiological stimulation of the mammary gland distinct from machine milking, while the cow's energy is partitioned between lactation and maternal investment.

Classic comparative studies by Hart et al. (1975) have demonstrated that lactating beef cows (Hereford) maintain positive body weight gain during early lactation, with significantly higher serum insulin (28.8 vs. 9.5 μU/mL) and glucose (0.705 vs. 0.654 mg/mL) levels compared to dairy cows (Friesians), indicating a fundamentally distinct nutrient partitioning strategy.

Our study extends these earlier observations by revealing a novel adaptive mechanism in Kazakh White-headed beef cows: a 1.89- to 4.02-fold decline in circulating triiodothyronine (T3) during the first month of lactation is counterbalanced by a 9.21% to 35.74% increase in aspartate aminotransferase (AST) activity, a marker of mitochondrial function. This inverse relationship suggests a unique compensatory upregulation of mitochondrial respiration efficiency, which likely compensates for diminished hormonal stimulation and ensures stable energy production to meet lactation demands under conditions of restricted nutrient intake typical of pasture-based suckling systems.

These findings highlight the remarkable metabolic plasticity of beef cattle and underscore the importance of breed-specific and management-specific adaptations. While the general principles of neuroendocrine regulation derived from dairy studies remain valid as a conceptual framework, direct extrapolation of metabolic thresholds or hormonal reference ranges from dairy to beef cattle is inappropriate and may lead to misinterpre-

tation. Our work therefore contributes to filling a critical knowledge gap regarding the physiological features of thyroid hormonal status specifically in beef cows during the suckling period, an area that remains insufficiently explored in the existing literature.

Conclusions

1. The concentration of triiodothyronine (T3) in the blood serum of Kazakh White-headed cows decreases from the onset to the end of the first month of lactation by a factor of 1.89 to 4.02, indicating a diminishing physiological demand for thyroid hormone stimulation as lactation progresses.

2. Mitochondrial activity, assessed by serum aspartate aminotransferase (AST) activity, increases during the same postpartum period by 9.21% to 35.74%, reflecting enhanced functional capacity of energy-generating cellular mechanisms. Our findings highlight the metabolic specificity of beef cattle compared to dairy breeds, emphasizing the need for breed-adapted reference values and management strategies.

3. A clear inverse correlation was established between circulating T3 levels and AST activity during early lactation: the decline in hormonal stimulation is counterbalanced by a compensatory upregulation of mitochondrial respiration, ensuring stable energy production to meet lactation demands.

4. The number of calvings (parity) significantly influences both hormonal and mitochondrial parameters. Cows with a higher parity (sixth calving) exhibited lower T3 concentrations and a less pronounced increase in AST activity by the end of the first month of lactation compared to cows with fewer calvings, suggesting improved metabolic adaptation and more efficient energy homeostasis with advanced reproductive experience.

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

REFERENCES:

1. **Pascottini O.B., Jo L.M.R. Leroy, Opsomer G. Metabolic stress in the transition period of dairy cows: focusing on the prepartum period.** *Animals (Basel).* 2020, 10(8), art. 1419. DOI:10.3390/ani10081419.

2. **Passamonti M.M., Milanesi M., Cattaneo L, et al. Unraveling metabolic stress response in dairy cows: genetic control of plasma biomarkers throughout lactation and the transition period.** *J Dairy Sci.,* 2024, 107(11), pp. 9602–9614. DOI:10.3168/jds.2023-24630.

3. **Derkho M.A. Rol' gormonov tireoidnoj osi v formirovanii lejkocitarnogo sostava krovi hryachkov i svinok remontnogo stada** [The role of thyroid axis hormones in the formation of the leukocyte composition of the blood of boars and pigs of the replacement stock]. *APK Rossii,* 2023, 30(2), pp. 236–242. (In Russian)

4. **Gillis N.E., Boyd J.R., Tomczak J.A., et al. Thyroid hormone dependent transcriptional programming by TRβ requires SWI/SNF chromatin remodelers.** *Nucleic Acids Res.* 2022, 50(3), pp. 1382–1395. DOI:10.1093/nar/gkab1287.

5. **Derkho M.A., Balabaev B.K., Baltabekova A.Zh., et al. Influence of age and lactation period on the variability of blood biochemical composition of Kazakh Whitehead cows.** *Int. Trans. J. Eng. Manag. Appl. Sci. Technol.,* 2022, 13(3), 13A3F, pp. 1–12. DOI:10.14456/ITJEMAST.2022.48.

6. **Kushnir A.E. Ocenka regulyatorny'h e'ffektov gormonov tireotropin-tireoidnoj osi v organizme hryakov po pulu e'ritrocitov** [Assessment of the regulatory effects of thyrotropin-thyroid axis hormones in the boar body by the pool of red blood cells]. *APK Rossii,* 2023, 30(4), pp. 545–551. (In Russian)

7. **Rahimov I.H. Vliyanie tehnologii soderzhaniya na formirovanie tireoidnogo i metabolicheskogo statusa u by'chkov simmental'skoj i chyorno-pestroj porod** [The influence of housing technology on the formation of thyroid and metabolic status in bulls of the Simmental and Black-and-White breeds]. *Ucheny'e zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny' im. N.E. Baumana,* 2013, 214, pp. 336–341. (In Russian)

8. **Fang Z., Jiang X., Wang S., et al. Nuciferine protects bovine hepatocytes against free fatty acid-induced oxidative damage by activating the transcription factor EB/PPARGC1A pathway**. *J. Dairy Sci., 2*024, 107(1), pp. 625–640. DOI:10.3168/jds.2022-22801.

9. **Taiwo G., Idowu M.D., Wilson M., et al. Residual feed intake in beef cattle is associated with differences in hepatic mRNA expression of fatty acid, amino acid, and mitochondrial energy metabolism genes.** *Front Anim Sci.,* 2022, vol. 3, art. 828591. DOI:10.3389/fanim.2022.828591.

10. **Zhang K.X., Li K., Li Z.H., et al. Serum macroelements and microelements levels in peripartu-rient dairy cows in relation to fatty liver diseases**. *BMC Vet Res.*, 2024, 20, art. 295. DOI:10.1186/s12917-024-04121-9.

11. **Balabaev B.K., Derkho M.A. Ocenka funkcional'noj aktivnosti shhitovidnoj zhelezy' u korov kazahskoj belogolovoj porody' v hode podsosnogo perioda** [Assessment of the functional activity of the thyroid gland in Kazakh Whitehead cows during the suckling period]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2017, 1(63), pp. 103–107. (In Russian)

12. **Derkho M.A. Sposob korrekcii e'nergeticheskogo statusa organizma pervotyolok na rannih e'tapah laktacii** [A method for correcting the energy status of first-calf heifers in the early stages of lactation]. *Dostizheniya zootehnicheskoj nauki v reshenii aktual'ny'h zadach zhivotnovodstva i akvakul'tury': materialy' Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma, Moscow: RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva,* 2023, pp. 141–145. (In Russian)

13. **Kolesnik E.A., Derkho M.A. Harakteristika faktorov gipofizarno-adrenokortikal'noj regulyacii i nespecificheskih adaptacionny'h reakcij u brojlerny'h cy'plyat** [Studying the factors of pituitary-adrenocortical regulation and nonspecific adaptive reactions in broiler chickens]. *Problemy' biologii produktivny'h zhivotny'h, 2017,* (1), pp. 81–91. (In Russian)

14. **Cincović M.R., Belić B., Djoković R., et al. Revised quantitative insulin sensitivity check index: associations with the metabolic status of cows during early lactation.** *Vet Arhiv.* 2019, 89(5), pp. 613–625. DOI:10.24099/vet.arhiv.0331.

Received: 03 February 2026. **Accepted:** 20 August 2026. **Published:** 30 September 2026.

Information about the authors:

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.

Ragatova Ainur Zholtayevna – PhD, Senior Lecturer, Department of veterinary medicine, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., tel.: 87474306869, e-mail: ainur_81@mail.ru.

Murzakayeva Gulmira Kalikhanovna – PhD, Senior Lecturer, Department of veterinary sanitation, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010011, Astana, 62 Zhenis Ave., tel:. 87172297252, e-mail: m.gumika@list.ru.

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.

Рагатова Айнур Жолтаевна – PhD докторы, ветеринариялық медицина кафедрасының аға оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов көш, 47., тел.: 87474306869, e-mail: ainur_81@ mail.ru.

Мурзакаева Гульмира Калихановна – PhD, ветеринариялық санитария кафедрасының аға оқытушысы, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қ, Жеңіс даңғ, 62, тел.: 87172297252, e-mail: m.gumika@list.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. Байтурсынова 47, тел.: 87777958592, e-mail: bol1683@mail.ru.*

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

Рагатова Айнур Жолтаевна – PhD доктор, старший преподаватель кафедры ветеринарной медицины, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтурсынова 47, тел.: 87474306869, e-mail: ainur_81@mail.ru.

Мурзакаева Гульмира Калихановна – PhD доктор, старший преподаватель кафедры ветеринарной санитарии, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010011, г. Астана, проспект Женис, 62, тел.: 8-7172297252, e-mail: m.gumika@list.ru.

IRSTI 68.41.53
UDC 619:616.98:579.843.95:599.735.53(574)
https://doi.org/10.52269/SEPT2631050

BRUCELLOSIS IN SAIGA ANTELOPES (SAIGA TATARICA) IN KAZAKHSTAN AMID POPULATION RECOVERY: RETROSPECTIVE DATA AND A ONE HEALTH RISK-BASED APPROACH

Baramova Sh.A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher of the Brucellosis Laboratory, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.*

Myrzaliyev A.Zh. – Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Brucellosis Laboratory, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Bizhanov A.B. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Director of Akyntai LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Kobdikova G.M. – PhD Student, Research Associate, Laboratory of Molecular Genetics and Food Safety, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Brucellosis remains one of the key zoonotic infections of veterinary, epidemiological and socio-economic importance for Kazakhstan. With the rapid recovery of the saiga antelope (Saiga tatarica) population to more than 4 million individuals, the need is increasing for scientifically grounded monitoring of infections common to wild and farm animals. The purpose of this study was to summarize previously partially published data from experimental and field studies of brucellosis in saigas conducted at KazRVI in 2000–2004, to compare them with the results of diagnostic monitoring in 2023, and to relate them to current epizootiological challenges. The retrospective component of the study included examination of blood sera from 704 free-ranging saigas, 145 newborn saiga calves, 25 clinically healthy calves kept in a stationary facility, and experimental infection of 9 saigas with virulent strains B. melitensis 565 and B. abortus 54. The current 2023 monitoring covered 20 saigas and 159 biological-material samples. It was established that the saiga is susceptible to B. melitensis and B. abortus; the serological response developed in a regular pattern, with earlier appearance of agglutinins and later formation of complement-fixing antibodies. Brucella cultures isolated after passage through the saiga organism retained their main morphological, cultural, staining, agglutinable and virulent properties. In 2023, no positive serological or bacteriological results were detected; however, the limited sample size does not exclude the need for regular risk-based surveillance. The obtained data substantiate the inclusion of the saiga in an interdepartmental brucellosis monitoring system in the One Health format.

Key words: *brucellosis, natural focality, One Health, saiga antelope, serological monitoring, veterinary epizootiology.*

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ АҚБӨКЕНДЕРДЕГІ ПОПУЛЯЦИЯНЫҢ ҚАЛПЫНА КЕЛУ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ БРУЦЕЛЛЕЗ (SAIGA TATARICA): РЕТРОСПЕКТИВТІ ДЕРЕКТЕР ЖӘНЕ ONE HEALTH ТӘУЕКЕЛГЕ ҚАҒИДАТЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН ТӘУЕКЕЛГЕ БАҒДАРЛАНҒАН ТӘСІЛ

Барамова Ш.А. – биология ғылымдарының докторы, профессор, бруцеллез зертханасының бас ғылыми қызметкері, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.*

Мырзалиев А.Ж. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, бруцеллез зертханасының меңгерушісі, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Бижанов А.Б. – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, «Ақынтай» ЖШС директоры, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Кобдикова Г.М. – PhD докторанты, молекулярлық генетика және тағам қауіпсіздігі зертханасының ғылыми қызметкері, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Бруцеллез Қазақстан үшін ветеринариялық, эпидемиологиялық және әлеуметтік-экономикалық маңызы бар негізгі зооантропоноздық инфекциялардың бірі болып қалып отыр. Киіктер (Saiga tatarica) санының жылдам қалпына келуі аясында 4 млн-нан астам дараққа дейін жабайы және ауыл шаруашылығы жануарларына ортақ жұқпалы ауруларға ғылыми негізделген мониторинг жүргізу қажеттілігі артуда. Жұмыстың мақсаты – 2000-2004 жылдары ҚазҒЗВИ-де орындалған киіктің бруцеллезін эксперименттік және далалық зерттеудің бұрын толық жарияланбаған материалдарын қорытындылау, оларды 2023 жылғы диагностикалық мониторинг нәтижелерімен және қазіргі заманғы эпизоотологиялық сын-қатерлермен салыстыру. Ретроспективті блок стационарда ұсталған 704 еркін киіктің, 145 жаңа туған киіктің, 25 клиникалық сау киіктің қан сарысуын зерттеуді, сондай-ақ 9 киіктің B. melitensis 565 және B. abortus 54 вируленттік штаммдарымен эксперименттік зақымдануын қамтыды. 2023 жылғы заманауи мониторинг 20 бас киік пен 159 биологиялық материал сынамасын қамтыды. Киіктің B. melitensis және B. abortus ауруларына бейім екені анықталды; серология-

лық жауап агглютининдердің неғұрлым ерте пайда болуымен және комплементті байланыстыратын антиденелердің неғұрлым кеш қалыптасуымен заңды түрде дамыды. Киіктің ағзасы арқылы өткеннен кейін бөлінген Brucella дақылдары негізгі морфологиялық, культуральдық, тинкториальдық, агглютинабельді және вируленттік қасиеттерін сақтаған. 2023 жылы оң серологиялық және бактериологиялық нәтижелер анықталған жоқ, алайда іріктеменің шектеулі көлемі тұрақты тәуекелге бағдарланған қадағалау қажеттілігін жоққа шығармайды. Алынған деректер киіктерді бруцеллездің ведомствоаралық мониторингі жүйесіне One Health форматында қосуды негіздейді.

Түйінді сөздер: *бруцеллез, табиғи ошақ, One Health, сайғақ, серологиялық мониторинг, ветеринариялық індеттану.*

БРУЦЕЛЛЕЗ У САЙГАКОВ (SAIGA TATARICA) В КАЗАХСТАНЕ НА ФОНЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОПУЛЯЦИИ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ ДАННЫЕ И РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД ONE HEALTH

Барамова Ш.А. – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории бруцеллеза, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», г. Алматы, Республика Казахстан.*

Мырзалиев А.Ж. – кандидат ветеринарных наук, заведующий лаборатории бруцеллеза, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», г. Алматы, Республика Казахстан.

Бижанов А.Б. – доктор ветеринарных наук, профессор, директор ТОО «Акынтай», г. Алматы, Республика Казахстан.

Кобдикова Г.М. – PhD-докторант, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики и пищевой безопасности, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», г. Алматы, Республика Казахстан.

Бруцеллез остается одной из ключевых зооантропонозных инфекций, имеющих ветеринарное, эпидемиологическое и социально-экономическое значение для Казахстана. На фоне стремительного восстановления численности сайги (Saiga tatarica) до более чем 4 млн особей возрастает необходимость научно обоснованного мониторинга инфекций, общих для диких и сельскохозяйственных животных. Цель работы – обобщить ранее полностью не опубликованные материалы экспериментального и полевого изучения бруцеллеза сайги, выполненные в КазНИВИ в 2000-2004 гг., сопоставить их с результатами диагностического мониторинга 2023 г. и современными эпизоотологическими вызовами. Ретроспективный блок включал исследование сывороток крови 704 свободноживущих сайгаков, 145 новорожденных сайгачат, 25 клинически здоровых сайгачат, содержавшихся в стационаре, а также экспериментальное заражение 9 сайгаков вирулентными штаммами B. melitensis 565 и B. abortus 54. Современный мониторинг 2023 г. охватывал 20 голов сайгаков и 159 проб биологического материала. Установлено, что сайга восприимчива к B. melitensis и B. abortus; серологический ответ развивался закономерно, с более ранним появлением агглютининов и более поздним формированием комплементсвязывающих антител. Культуры Brucella, выделенные после прохождения через организм сайги, сохраняли основные морфологические, культуральные, тинкториальные, агглютинабельные и вирулентные свойства. В 2023 г. положительных серологических и бактериологических результатов не выявлено, однако ограниченный объем выборки не исключает необходимости регулярного риск-ориентированного надзора. Полученные данные обосновывают включение сайги в систему межведомственного мониторинга бруцеллеза в формате One Health.

Ключевые слова: *бруцеллез, природная очаговость, One Health, сайгак, серологический мониторинг, ветеринарная эпизоотология.*

Introduction. Brucellosis is among the most significant zoonotic infections, because it affects a wide range of domestic, wild and laboratory animals, as well as humans. Agents of the genus *Brucella* are able to persist for long periods in the organism of susceptible hosts and to spread through reproductive discharges, biological fluids, aborted material, contaminated pastures and water sources. Therefore, control of brucellosis requires not only laboratory diagnostics in farm herds, but also an understanding of the role of wild fauna in the maintenance and movement of the pathogen [1, p.1].

For Kazakhstan, the problem of brucellosis is especially relevant due to developed pasture livestock farming, seasonal animal migrations, shared use of watering places and pastures, and the persisting probability of contact between domestic ruminants and wild ungulates. Under these conditions, studying the saiga as a mass migratory species has not only zoological, but also applied veterinary and epizootiological importance [2, p. 908].

In recent years, the importance of the saiga in the veterinary-safety system has increased substantially. According to official and open data, after a historical minimum of about 21 thousand individuals in 2003, the number of this species in Kazakhstan increased to 1,915,000 individuals in spring 2023, to 2,833,600 individuals according to the 2024 aerial census, and to more than 4 million individuals according to 2025

reports. Such growth is accompanied by an expansion of animal concentration areas and increases the importance of monitoring infections common to wild and farm animals [3, p. 98; 4, p. 1; 5, p. 1].

The rapid recovery of the saiga population is a major conservation achievement of Kazakhstan. At the same time, a multimillion population of freely migrating animals raises new questions: sanitary assessment of materials obtained during population regulation, safety of contact with domestic livestock, the risk of contamination of pastures and water sources, and the need for interdepartmental monitoring in the One Health format [6, p. 2].

The concept of natural focality of brucellosis in wild animals is not new. Classical studies by M. M. Rementsova showed the presence of natural *Brucella* carriers among the wild fauna of Kazakhstan, including data on the isolation of *Brucella* cultures from saigas and serological reactivity in a part of the examined animals [7, p. 14].

Studies of infections in saigas and domestic animals in Kazakhstan are also of additional importance, since they emphasize the need for an integrated approach to evaluating interspecific epizootiological links [8, p. 1].

The scientific significance of the present article lies in the fact that it combines retrospective experimental material obtained from a unique object, the saiga, with current monitoring data and the present situation of a sharp increase in the number of the species. This approach makes it possible to consider the previously obtained results not as an archival fragment of a dissertation, but as a basis for a modern system of brucellosis surveillance in wild ungulate populations.

Aim and objectives of the study

The aim was to present previously partially published experimental and field materials on brucellosis in saigas, supplement them with the results of 2023 monitoring, and substantiate a modern risk-based approach to veterinary surveillance of this species under conditions of a multimillion population size.

– summarize materials of the retrospective experimental and field study of brucellosis in saigas carried out in 2000–2004;

– evaluate the diagnostic significance of serological and bacteriological methods in the examination of saigas;

– include the results of the 2023 studies covering 20 saigas and 159 biological-material samples;

– update the relevance of the topic taking into account official data on the growth of the saiga population to more than 4 million individuals;

– substantiate proposals for risk-based monitoring of brucellosis in saigas within the One Health system.

Materials and methods

The retrospective block was based on the materials of the doctoral dissertation of Sh. A. Baramova, completed at the Kazakh Research Veterinary Institute in 2000–2004. The analysis included experimental, serological, bacteriological, biological and pathomorphological data obtained during the study of naturally occurring and experimentally infected saigas [9, p. 14].

For experimental reproduction of infection, virulent strains *B. melitensis* 565 and *B. abortus* 54, which had undergone passage through guinea pigs, were used. Saigas were infected by conjunctival, alimentary and subcutaneous routes. Blood sera were examined dynamically on days 2, 4, 7, 14–15, 20, 25 and 28 after infection; after 28 days, bacteriological examination of lymph nodes, parenchymal organs, bone marrow and other materials was performed.

Serological studies were conducted using RBT, AT, PCFT/CFT and ELISA. An AT titer of 1:25, tested in the materials of KazRVI and used in the interpretation of the 2023 monitoring results, was considered diagnostically significant for saiga blood sera. Bacteriological studies were performed according to regulated methods, with inoculation of material onto nutrient media and subsequent identification of the isolated cultures [10, p. 5; 11, p. 5].

The current block included the 2023 internal report of the brucellosis laboratory of KazRVI LLP on the diagnostic examination of saigas from the Ural and Betpakdala populations. The results of serological reactions and bacteriological examination of biological material from saigas (n = 20) were evaluated [12, p. 1].

In 2023, biological materials from saigas (n = 20) originating from West Kazakhstan Region and Dzhangeldy District of Kostanay Region were examined. A total of 159 samples were studied, including serum samples (n = 20), whole-blood samples (n = 20), parenchymal organs, lymph nodes, bone marrow, fetuses, horns and wool. Sera were examined by RBT, AT, CFT and ELISA; the bacteriological block included microscopy of impression smears and inoculation onto nutrient media with observation for up to 30 days [12, p. 1].

Results

Classical materials on wild animals of Kazakhstan show that brucellosis infection can be maintained not only in populations of farm animals, but also among representatives of wild fauna. Data by M. M. Rementsova and subsequent studies indicate the presence of natural *Brucella* carriers capable of preserving the pathogen without rapid death of the host and participating in the maintenance of natural focality [7, p. 14; 8, p. 1]

The results of the authors' own studies in 2000–2004 confirmed the susceptibility of the saiga to *B. melitensis* and *B. abortus* under experimental conditions. Serological, bacteriological and biological data showed that, after the pathogen entered the saiga organism, an infectious process formed, accompanied by the appearance of specific antibodies and the isolation of *Brucella* cultures from organs and lymph nodes [9, p. 14].

Serological reactivity of experimentally infected saigas

Before infection, all experimental saigas of the three experimental groups, as well as control ewes, were examined by RBT, AT and PCFT; negative results were obtained in all cases. This made it possible to consider the subsequent appearance of agglutinating and complement-fixing antibodies as a direct immunological response to the administration of virulent cultures of *Brucella* melitensis 565 and *B. abortus* 54. Dynamic examination of blood sera was performed on days 2, 4, 7, 14–15, 20, 25 and 28 after infection, which made it possible to trace the early and subsequent phases of the serological response in the saiga.

When infection was caused by *B. melitensis* 565, the earliest appearance of agglutinating antibodies was established in animals infected by the conjunctival and subcutaneous routes. As early as day 7, the blood sera of these animals reacted positively in AT and RBT. In the saiga infected by the conjunctival route, the agglutinin titer reached 1:800, and after subcutaneous infection it reached 1:400. In subsequent observation periods, titers in these two animals increased to 1:1600 and remained at a high level on days 20–25, indicating a pronounced immunological reactivity of the saiga organism to *B. melitensis*.

Alimentary infection with *B. melitensis* 565 was accompanied by later development of the serological response. On day 7, AT and RBT remained negative, while the appearance of agglutinins was recorded only on days 14–15 after infection, when the serum reacted at a final dilution of 1:200. Subsequently, the titer gradually increased to 1:400, and serum samples during these periods gave positive results in RBT. This dynamic shows that the oral route of infection in saigas is also capable of leading to the formation of a specific humoral response, but with some delay compared with the conjunctival and subcutaneous routes.

When infection was caused by *B. abortus* 54, serological reactivity developed more slowly and was less pronounced. On days 2, 4 and 7 after infection, AT and RBT results remained negative in animals infected by all three routes. The first agglutinins were recorded approximately on days 14–15: at a titer of 1:100 after conjunctival infection, 1:50 after subcutaneous infection and 1:25 after alimentary infection. On day 20, titers increased further to 1:400, 1:200 and 1:200, respectively, and by days 25–28 serum activity increased by approximately one further dilution.

Comparison of data for the two *Brucella* species shows that *B. melitensis* 565 induced an earlier and more intense agglutination response in the saiga than *B. abortus* 54. This was manifested not only in the earlier appearance of positive reactions, but also in higher terminal titers. The results were especially indicative after conjunctival and subcutaneous infection, where AT titers with *B. melitensis* reached 1:1600, whereas the increase in antibodies with *B. abortus* occurred gradually and within lower limits.

PCFT results confirmed the general pattern of development of brucellosis infection: complement-fixing antibodies appeared later than agglutinins. When infection was caused by *B. melitensis* 565, positive reactions in PCFT began to appear after formation of the agglutination response and reached diagnostically significant titers at later observation periods. When infection was caused by *B. abortus* 54, the appearance of complement-fixing antibodies was recorded mainly from day 20: in animals infected by the subcutaneous and alimentary routes, reactions were recorded at a final dilution of 1:320, and in subcutaneous infection the titer increased to 1:640 by day 28. In conjunctival infection with *B. abortus* 54, complement-fixing antibodies were detected later, from day 25, at a titer of 1:640, which was maintained on day 28.

Thus, the experiment in saigas clearly demonstrated the sequence of serological changes typical of brucellosis infection: earlier appearance of agglutinins and later detection of complement-fixing antibodies. This pattern has practical significance for selecting diagnostic reactions when examining saigas. At early stages of the infectious process, RBT and AT are more informative, whereas PCFT/CFT should be used as an additional reaction to confirm and assess the later phase of the immune response.

Of particular importance is the AT diagnostic titer for saiga blood serum of 1:25 established in the materials of KazRVI, which was also used in the current 2023 studies. Taking into account the biological features of the saiga as a wild migratory animal, the use of a set of serological reactions is a more reliable approach than the use of a single test. The obtained results make it possible to recommend intravital examination of saiga blood sera by RBT and AT with subsequent confirmation by CFT/PCFT and, where conditions permit, by ELISA [9, p. 14; 11, p. 5; 12, p. 1].

The reliability of the experimental data is confirmed by the fact that all animals were serologically negative at baseline, while seroconversion occurred after infection in a regular dependence on the species of pathogen, route of infection and timing of examination. At the same time, interpretation of results in free-ranging saigas requires caution, since under field conditions it is impossible to establish precisely the duration of infection, the pathogen dose and the route of infection. Therefore, detection of antibodies in saigas should be evaluated in combination with epizootiological data, bacteriological results and the nature of contact with domestic animals, pastures and water sources. The comparative characteristics of antibody appearance and maximum titers are presented in Table 1.

The summarized serological data show that the earliest and most intense AT response formed after infection with *B. melitensis* 565, especially after conjunctival and subcutaneous administration of the culture. In all experiments, complement-fixing antibodies appeared later than agglutinins, which is consistent with general patterns of immunogenesis in brucellosis infection.

Table 1 – Comparative characteristics of the timing of appearance and maximum antibody titers in saigas after experimental infection with *Brucella spp.*

Pathogen and route of infection	First positive AT results	Maximum AT titer	First positive PCFT results	Maximum PCFT titer
B. melitensis 565, conjunctival	day 7, 1:800	1:1600 (days 15–25)	day 15, 1:160	1:640 (days 25–28)
B. melitensis 565, subcutaneous	day 7, 1:400	1:1600 (days 15–25)	day 20, 1:320	1:320 (days 20–28)
B. melitensis 565, alimentary	day 15, 1:200	1:400 (days 20–28)	day 20, 1:320	1:640 (days 25–28)
B. abortus 54, conjunctival	day 15, 1:100	1:800 (days 25–28)	day 25, 1:640	1:640 (days 25–28)
B. abortus 54, subcutaneous	day 15, 1:50	1:400 (days 25–28)	day 20, 1:320	1:640 (day 28)
B. abortus 54, alimentary	day 15, 1:25	1:400 (days 25–28)	day 20, 1:320	1:320 (days 20–28)

The graphical presentation of serological data clearly confirms differences in the timing and intensity of the immune response after infection with different *Brucella* species. The most demonstrative finding is the rapid rise of AT titers after *B. melitensis* 565 infection, especially with conjunctival and subcutaneous infection, as well as the more delayed and moderate increase in titers after *B. abortus* 54 infection.

For the article, it is fundamentally important to emphasize that the serological block has not only experimental, but also applied diagnostic significance: it substantiates the possibility of using the standard set of reactions for brucellosis in saigas, while taking into account the species and population characteristics of the wild animal. Therefore, when monitoring saigas, it is advisable to combine screening reactions (RBT, AT) with confirmatory tests (CFT/PCFT, ELISA) and bacteriological examination of pathological material [1, p. 1; 10, p. 5; 11, p. 5].

Bacteriological results and biological properties of cultures

After experimental infection, inoculations from lymph nodes and internal organs were performed in saigas. The isolated cultures were studied according to typical biological characteristics. The dissertation materials indicate that *B. melitensis* 565 and *B. abortus* 54, after passage through the saiga organism, retained their main species properties, including growth characteristics, agglutinability and the S-form of colonies. In saigas infected with *B. melitensis* 565, a larger number of seeded organs was observed, indicating a more pronounced pathogenicity of this *Brucella* species for the saiga organism compared with *B. abortus* 54 [9, p. 14].

The preservation of the biological properties of cultures after passage through the organism of an atypical host is of fundamental importance: it shows that the saiga can be not only an accidentally reacting animal, but also a potential host in whose organism brucellae are able to retain virulent and diagnostically significant traits. This fact strengthens the need for bacteriological confirmation when brucellosis is suspected in wild ungulates, especially in areas of contact with domestic herds unfavorable for brucellosis [1, p. 1; 10, p. 5].

Results of diagnostic monitoring in 2023

In 2023, no positive results were obtained when 20 saiga blood-serum samples were examined by RBT, AT, CFT and ELISA. In RBT, agglutination was absent; in AT, no clearing of the fluid or formation of an agglutinate “umbrella” was observed; in CFT, complete hemolysis was observed, corresponding to a negative reaction. During bacterioscopy of impression smears, *Brucella*-like Gram-negative coccobacilli were not detected; during culture examination on nutrient media for 30 days, no growth characteristic of brucellae was observed [12, p. 1].

The negative results of 2023 are of important practical significance, but they must be interpreted with caution. A sample of 20 animals cannot characterize the entire multimillion saiga population, especially taking into account the spatial heterogeneity of migrations, seasonality, contact with domestic animals and differences among the Ural, Betpakdala and Ustyurt populations. Therefore, the 2023 data should be regarded as a current monitoring cross-section, not as a basis for excluding brucellosis risk in the species as a whole. The results of the 2023 diagnostic examination are summarized in Table 2.

Table 2 – Results of the diagnostic examination of saigas in 2023

Indicator	Material volume	Methods	Result
Blood serum	20 samples	RBT, AT, CFT, ELISA	No positive reactions detected
Whole blood	20 samples	Bacterioscopy/bacteriology	*Brucella*-like microorganisms not detected

Continuation of Table 1

Organs, lymph nodes, bone marrow, fetuses, horns, wool	159 samples in total, including blood and sera	Impression smears, inoculation onto nutrient media, observation for up to 30 days	Growth of bacteria characteristic of *Brucella spp.* not detected
General interpretation	20 saigas	Integrated serological and bacteriological block	Signs of brucellosis infection were not established in this sample

Discussion

The experimental results demonstrate biological susceptibility of the saiga rather than proving that free-ranging saigas currently maintain an autonomous reservoir of brucellosis. This distinction is essential. Modern reviews show that the host range of *Brucella* is broader than the traditional livestock associations and that wildlife can participate in either spillover or spillback cycles when ecological contact is sufficient [14, p. 1; 15, p. 1]. In the present study, seroconversion, organ colonization and preservation of the principal phenotypic properties of the isolates after passage provide experimental evidence that infection can develop in the saiga. However, reservoir status would additionally require repeated field detection, evidence of persistence and proof of transmission within the population or across the wildlife-livestock interface.

The sequence of serological reactions has a plausible immunological explanation. Agglutinating antibodies are expected to become detectable during the early humoral response, whereas complement-fixing activity usually becomes more evident after maturation of the antibody response and increasing contribution of immunoglobulin classes capable of efficient complement activation [14, p. 1]. This mechanism is consistent with the earlier positivity of RBT/AT and the delayed PCFT response observed here. It also explains why a single test performed at one time point may miss either an early infection or a later stage with changing antibody profiles; serial or parallel testing is therefore more defensible than reliance on one reaction.

The faster and more intense response after conjunctival and subcutaneous inoculation than after alimentary exposure can be interpreted cautiously in terms of access to susceptible tissues. Conjunctival exposure provides direct contact with mucosa-associated lymphoid tissues, and subcutaneous inoculation bypasses gastrointestinal barriers; oral exposure is affected by dilution, gastric conditions and variable uptake across the intestinal mucosa. These mechanisms could delay systemic antigen presentation after alimentary infection. Likewise, the stronger response and wider organ recovery after *B. melitensis* 565 may reflect differences in strain virulence, inoculum-host interaction and tissue tropism. Because the number of animals in each experimental combination was small and strain and route effects were not factorially separated, these explanations should be regarded as biologically plausible interpretations, not as definitive causal estimates.

The bacteriological findings add information that serology alone cannot provide. *Brucella* is a facultative intracellular pathogen able to survive in cells of the mononuclear phagocyte system; therefore, recovery from lymph nodes and internal organs is consistent with systemic dissemination rather than transient antibody reactivity [14, p. 1]. Preservation of cultural, agglutinable and virulent properties after passage indicates that the saiga organism did not eliminate the diagnostically important phenotype of the strains. At the same time, an experimental infection under controlled exposure cannot by itself quantify the probability of natural transmission, which depends on dose, shedding, environmental survival and frequency of effective contacts.

Interpretation of field monitoring and risk-based sampling

The 2023 results establish absence of detected infection in the examined material, not absence of brucellosis in the national saiga population. If the 20 examined animals were treated as a simple random sample and the diagnostic system as perfect, zero positives would still correspond to an approximate upper 95% binomial prevalence bound of 13.9%. In reality, the animals were not selected through a population-representative design and tests are not perfectly sensitive; therefore, the inference must be narrower. The result is a useful baseline for the sampled places and period, but it does not rule out low-prevalence, focal or seasonally variable infection. This is why population, geographic area, season, age, sex and contact history must be recorded for every sample.

Comparison with recent wildlife studies reinforces this interpretation. A 2024 survey of 312 apparently healthy wild ruminants in Slovenia found no antibodies to *Brucella spp.*, yet the authors still emphasized continuous surveillance at the wildlife-livestock interface [16, p. 1]. Conversely, contemporary European data document *Brucella* circulation in selected wildlife hosts and show that risk is spatially heterogeneous rather than uniform across species or territories [15, p. 1; 17, p. 1]. For saigas, this supports stratified sampling focused on migration bottlenecks, shared watering places, livestock grazing overlap, mortality events, reproductive material and animals obtained during population regulation. Horns and wool alone are diagnostically weak matrices; blood, lymph nodes, spleen, liver, bone marrow and reproductive tissues provide a more biologically justified combination. The proposed risk-based algorithm for brucellosis monitoring in saigas is presented in Table 3.

Table 3 – Proposed risk-based algorithm for brucellosis monitoring in saigas

Situation	Material	Methods	Aim
Intravital examination/capture	Blood, blood serum	RBT, AT, CFT/PCFT, ELISA	Detection of seroreactive animals
Planned sampling after shooting/ population regulation	Serum, blood, lymph nodes, liver, spleen, bone marrow	Serology, bacterioscopy, culture method and, where possible, PCR	Detection of active or past infection
Mortality, abortions, suspicion of infection	Aborted fetus, uterus/reproductive organs, lymph nodes, parenchymal organs	Bacteriology, PCR, serology using available samples	Confirmation/exclusion of brucellosis and differentiation of causes of mortality
Areas of contact with domestic livestock	Material from saigas and parallel samples from domestic animals	Synchronous serological and bacteriological monitoring	Assessment of interspecific exchange of infection and targeting of preventive measures

One Health, physical transmission pathways and economic implications

An increase in saiga numbers does not mechanically cause brucellosis. The physical mechanism of risk is contact-mediated: overlap of migration routes with livestock pastures and watering places can connect host populations, while infected reproductive discharges, aborted material and contaminated soil or water can provide an indirect pathway through mucous membranes or damaged skin. Recent wildlife and livestock studies similarly identify grazing overlap, reproductive materials and environmental persistence as the critical interface variables [15, p. 1; 17, p. 1; 18, p. 1]. Consequently, population size should be treated as a modifier of encounter opportunities, not as evidence that saigas are an established source of infection.

The economic pathway is also indirect but important. If infection crosses into livestock, losses may arise from abortion, infertility, reduced production, diagnostic testing, vaccination, movement restrictions and compulsory removal of infected animals; Kazakhstan-specific analyses have already documented substantial health and economic burden from brucellosis [19, p. 1]. During saiga population regulation or mortality response, additional costs concern safe sampling, laboratory testing, carcass handling and occupational protection. Recent Kazakhstan data further show persistent gaps between knowledge and risk-related practices among livestock keepers, while international experience supports territorially targeted One Health measures rather than uniform control [13, p. 1; 18, p. 1]. These mechanisms justify an integrated database and synchronized surveillance of saigas, domestic ruminants and environmental risk sites without prematurely labelling the saiga as the principal reservoir.

Study limitations

The main limitation of the research is the retrospective nature of part of the experimental data and the small number of animals used in the experiments, which was due to the biological characteristics of the saiga, the difficulty of keeping it in captivity and the limited availability of material. The 2023 monitoring also covered a limited sample of 20 animals; therefore, negative results cannot be extrapolated to the entire population. At the same time, the combination of experimental, serological, bacteriological and current monitoring data makes it possible to formulate scientifically grounded proposals for subsequent studies.

Practical recommendations

– Include the saiga in regular risk-based monitoring of brucellosis in the territories of the Ural, Betpakdala and Ustyurt populations.

– Conduct parallel monitoring of domestic animals in areas where pastures, watering places and saiga migration routes intersect.

– During shooting, population regulation or mortality events, collect not only horns and wool, but also blood, lymph nodes, liver, spleen, bone marrow and, where available, reproductive material.

– Use a set of serological methods (RBT, AT, CFT/PCFT, ELISA), taking into account the AT diagnostic titer for saigas of 1:25, tested in the materials of KazRVI [9, p. 14; 12, p. 1].

– When infection is suspected, perform bacteriological confirmation and, where technically possible, molecular-genetic identification of *Brucella spp.*

– Create an electronic database of the results of biomaterial examination from saigas, indicating population, region, season, sex, age, sampling method and laboratory-test results.

– Consider veterinary monitoring of the saiga as part of an interdepartmental One Health system that unites nature-conservation, veterinary, medical and agricultural structures.

Conclusion

The array of experimental and field materials of KazRVI, not previously published in full, shows that the saiga is susceptible to *B. melitensis* and *B. abortus*, and that the serological dynamics in experimentally infected animals correspond to the general patterns of brucellosis infection: early appearance of agglutinins and later detection of complement-fixing antibodies.

The 2023 monitoring, which included 20 saigas and 159 biological-material samples, did not reveal serological or bacteriological signs of brucellosis in the examined sample. These results are favorable, but they do not exclude the need to continue regular surveillance, especially in areas of contact between saigas and domestic ruminants and in territories of mass animal concentration.

The current situation requires a transition from episodic studies to standardized risk-based monitoring that combines serological, bacteriological, molecular and epizootiological methods. Taking into account the scale of saiga population recovery, such monitoring should be integrated into an interdepartmental One Health system.

Acknowledgments

The authors express gratitude to the Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP (KazRVI LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan), where the retrospective studies and diagnostic monitoring of 2023 were carried out, as well as to the specialists of the brucellosis laboratory for their participation in laboratory investigations and preservation of archival materials.

Ethical aspects

This article does not contain new experimental infections of animals; it is based on retrospective materials from previously completed scientific work and on a diagnostic study of biological material in 2023.

Funding

The historical stage of the study was conducted as part of KazRVI scientific studies under the institute's state program (1996–2000) 09.01.02 "To develop a scientifically grounded system of anti-brucellosis (diagnostic and preventive) measures taking into account livestock-production technology and regional features of epizootiology" (state registration No. 0197RK00877) in the conditions of the KazRVI brucellosis laboratory; separate fragments of the work were performed within the INTAS program.

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

REFERENCES:

1. **World Organisation for Animal Health. Brucellosis (infection with *Brucella abortus*, *B. melitensis* and *B. suis*). Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals**. Chapter 3.1.4. Paris, WOAH, 2022. Available at: https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahm/3.01.04_BRUCELLOSIS.pdf (accessed 5 June 2026).

2. **Ospanov Y., Arysbekova A., Kairbek A., Kirpichenko V., Karabassova A. Determination of risks of occurrence and areas of brucellosis infection spread in the territory of the Republic of Kazakhstan**. *International Journal of Veterinary Science*, 2024, vol. 13, no. 6, pp. 908-913. DOI: 10.47278/journal.ijvs/2024.187.

3. **Kazambaeva A.M., Aesheva G.A., Yesengalieva S.M. Upravlenie populyaciyami sajgakov v Kazahstane: retrospektivnoe issledovanie i vozmozhnosti sohraneniya** [Management of saiga populations in Kazakhstan: a retrospective study and conservation opportunities] *Problems of AgriMarket*, 2024, no. 4, pp. 98-111. DOI: 10.46666/2024-4.2708-9991.09. (In Russian)

4. **Altyn Dala Conservation Initiative. Results from the 2024 saiga aerial census in Kazakhstan are in! 2024.** Available at: https://altyndala.org/results-from-the-2024-saiga-aerial-census-in-kazakhstan-are-in/ (accessed 5 June 2026).

5. **Government of the Republic of Kazakhstan. Olzhas Bektenov held a meeting on the implementation of the President's instructions announced at the IV meeting of the National Kurultai. 2025.** Available at: https://www.gov.kz/memleket/entities/aqmola/press/news/details/958653?lang=en (accessed 5 June 2026).

6. **Charypkhan D., Rüegg S.R. One Health evaluation of brucellosis control in Kazakhstan**. *PLOS ONE*, 2022, vol. 17, no. 11, art. e0277118. DOI: 10.1371/journal.pone.0277118.

7. **Rementsova M.M. Brucellez dikih zhivotny'h** [Brucellosis of wild animals]. Alma-Ata, Nauka, 1962, 270 p. (In Russian)

8. **Lundervold M. Infectious diseases of saiga antelopes and domestic livestock in Kazakhstan.** PhD thesis, 2001, available at: https://www.saigaresourcecentre.com/literature/infectious-diseases-saiga-antelopes-and-domestic-livestock-kazakhstan-phd-thesis (accessed 5 June 2026).

9. **Baramova Sh.A. Immunologicheskie pokazateli organizma sajgi, diagnostika i patologiya pri brucelleze** [Immunological parameters of the saiga organism, diagnostics and pathology in brucellosis]. PhD thesis, Almaty, 2004, 240 p. (In Russian)

10. **GOST 33675-2015. Zhivotny'e. Laboratornaya diagnostika brucelleza. Bakteriologicheskie metody'** [Animals. Laboratory diagnosis of brucellosis. Bacteriological methods]. Moscow, Standartinform, 2016, 18 p. (In Russian)

11. **GOST 34105-2017. Zhivotny'e. Laboratornaya diagnostika brucelleza. Serologicheskie metody'** [Animals. Laboratory diagnosis of brucellosis. Serological methods]. Moscow, Standartinform, 2018, 21 p. (In Russian)

12. **TOO "Kazahskij nauchno-issledovatel'skij veterinarny'j institut". Materialy' diagnosticheskogo issledovaniya sajgakov na brucellez za 2023 god** [Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP. Materials of diagnostic testing of saigas for brucellosis in 2023]. Unpublished laboratory report, Almaty, KazRVI LLP, 2023. (In Russian)

13. **Tursunkulov S., Zakirova F., Moldakhmetova Z. et al. Brucellosis in Kazakhstan: knowledge, attitudes, and practices among smallholder farmers and veterinary specialists**. *Veterinary Sciences*, 2026, vol. 13, no. 2, art. 191. DOI: 10.3390/vetsci13020191.

14. **Qureshi K.A., Parvez A., Fahmy N.A. et al. Brucellosis: epidemiology, pathogenesis, diagnosis and treatment – a comprehensive review**. *Annals of Medicine*, 2023, vol. 55, no. 2, art. 2295398. DOI: 10.1080/07853890.2023.2295398.

15. **Jamil T., Akar K., Erdenlig S. et al. Spatio-temporal distribution of brucellosis in European terrestrial and marine wildlife species and its regional implications**. *Microorganisms*, 2022, vol. 10, no. 10, art. 1970. DOI: 10.3390/microorganisms10101970.

16. **Žele Vengušt D., Krt B., Blagus R., Vengušt G., Bandelj P. Seroprevalence of infectious pathogens of zoonotic and veterinary importance in wild ruminants from Slovenia**. *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, vol. 11, art. 1415304. DOI: 10.3389/fvets.2024.1415304.

17. **Parolini F., Tranquillo V., Pesciaroli M. et al. *Brucella spp.* in wildlife of the Lombardy Region, northern Italy**. *Journal of Wildlife Diseases*, 2024, vol. 60, no. 3, pp. 605-614. DOI: 10.7589/JWD-D-22-00183.

18. **Mazzeo A., Mascolo C., Maiuro L. et al. Brucellosis in cattle and buffalo in southern Italian provinces: trends in presence of territory-specific One Health measures**. *Frontiers in Microbiology*, 2025, vol. 16, art. 1609336. DOI: 10.3389/fmicb.2025.1609336.

19. **Charypkhan D., Sultanov A.A., Ivanov N.P., Baramova S.A., Taitubayev M.K., Torgerson P.R. Economic and health burden of brucellosis in Kazakhstan**. *Zoonoses and Public Health*, 2019, vol. 66, no. 5, pp. 487-494. DOI: 10.1111/zph.12582.

Received: 09 June 2026. **Accepted:** 13 August 2026. **Published:** 30 September 2026.

Information about the authors:

Baramova Sholpan Auzarovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher of the Brucellosis Laboratory, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Republic of Kazakhstan, 050016, Almaty, 223 Raiymbek Ave., tel.: 87477237301, e-mail: sholbar@mail.ru.*

Myrzaliyev Akhan Zhakangerovich – Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Brucellosis Laboratory, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Republic of Kazakhstan, 050016, Almaty, 223 Raiymbek Ave., tel.: 87478085988, e-mail: Ahan75@mail.ru.

Bizhanov Alim Baizhanovich – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Director of Akyntai LLP, Republic of Kazakhstan, 050016, Almaty, 223 Raiymbek Ave., tel.: 87773701240, e-mail: alimakyntai@mail.ru

Kobdikova Gulmira Makatayevna – PhD student, Research Associate, Laboratory of Molecular Genetics and Food Safety, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Republic of Kazakhstan, 050016, Almaty, 223 Raiymbek Ave., tel.: 87019516270, e-mail: gulmirakobdikova@mail.ru.

Барамова Шолпан Аузаровна – биология ғылымдарының докторы, профессор, бруцеллез зертханасының бас ғылыми қызметкері, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050016, Алматы қ., Райымбек даңғ, 223, тел.: 87477237301, e-mail: sholbar@mail.ru.*

Мырзалиев Ахан Жакангерович – ветеринария ғылымдарының кандидаты, бруцеллез зертханасының меңгерушісі, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050016, Алматы қ., Райымбек даңғ, 223, тел.: 87478085988, e-mail: Ahan75@mail.ru.

Бижанов Алим Байжанович – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, «Ақынтай» ЖШС директоры, Қазақстан Республикасы, 050016, Алматы қ., Райымбек даңғ, 223, тел.: 87773701240, e-mail: alimakyntai@mail.ru.

Кобдикова Гульмира Макатаевна – PhD докторанты, молекулярлық генетика және тағам қауіпсіздігі зертханасының ғылыми қызметкері, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050016, Алматы қ., Райымбек даңғ, 223, тел.: 87019516270, e-mail: gulmirakobdikova@mail.ru.

Барамова Шолпан Аузаровна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории бруцеллеза, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», Республика Казахстан, 050016, г. Алматы, пр. Райымбека, 223, тел.: 87477237301, e-mail: sholbar@mail.ru.*

Мырзалиев Ахан Жакангерович – кандидат ветеринарных наук, заведующий лабораторией бруцеллеза, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», Республика Казахстан, 050016, г. Алматы, пр. Райымбека, 223, тел.: 87478085988, e-mail: Ahan75@mail.ru.

Бижанов Алим Байжанович – доктор ветеринарных наук, профессор, директор ТОО «Акынтай», Республика Казахстан, 050016, г. Алматы, пр. Райымбека, 223, тел.: 87773701240, e-mail: alimakyntai@mail.ru.

Кобдикова Гульмира Макатаевна – докторант PhD, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики и пищевой безопасности, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», Республика Казахстан, 050016, г. Алматы, пр. Райымбека, 223, тел.: 87019516270, e-mail: gulmirakobdikova@mail.ru.

МРНИТИ 68.41.31
УДК 619:614.31:637.5
https://doi.org/10.52269/SEPT2631059

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫРАЩИВАНИЯ НА БЛАГОПОЛУЧИЕ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА

Елеусизова А.Т. – PhD, 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.

Тыштыкбаева С.Б. – магистр ветеринарных наук, ст. преподаватель 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.

В статье рассматривается проблема управления качеством мясного сырья в рамках замкнутого технологического цикла «выращивание – предубойная выдержка – первичная переработка». Существующие подходы к оценке предубойного стресса часто не учитывают индивидуальную адаптацию у животных, что снижает точность прогнозирования дефектов туш. В ходе исследования на базе предприятий Костанайской области изучена основная динамика ключевых прижизненных биомаркеров – кортизола, лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и креатинфосфокиназы (КФК) – в сопоставлении с послеубойным уровнем pH мышечной ткани в процессе автолиза. Установлена прямая связь между интенсивностью антемортемного стресс-ответа и блокированием послеубойного снижения pH говядины. Выбор экспериментальной площадки обеспечил возможность комплексного мониторинга адаптационных особенностей крупного рогатого скота (КРС) мясного скота в условиях открытого содержания, при их выводе из производства и последующем направлении на убой. Экспериментально доказано, что у критически стрессированных животных (группа III) на фоне пиковой концентрации кортизола (180,70±3,59 нмоль/л) к 24 часам после убоя уровень pH фиксируется на аномально высокой отметке 6,32±0,06, что обуславливает развитие дефекта DFD в 24% туш. Доказано, что интеграция экспресс-мониторинга биохимических маркеров и замера pH в сквозную систему контроля позволяет предприятиям оперативно выявлять технологические риски и минимизировать экономические убытки.

***Ключевые слова:** замкнутый цикл, предубойный стресс, качество мяса, кортизол, DFD.*

ТҰЙЫҚ ӨНДІРІСТІК ЦИКЛ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ МАЛ ӨСІРУ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІНІҢ ЖАНУАРЛАР ӘЛ-АУҚАТЫНА ӘСЕРІ

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

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

Тыштыкбаева С.Б. – ветеринария ғылымдарының магистрі, ветеринарлық санитария кафедрасының аға оқытушысы, «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.

Мақалада «өсіру – сою алдындағы ұстау – бастапқы өңдеу» тұйық технологиялық циклі шеңберінде ет шикізатының сапасын басқару мәселесі қарастырылады. Сою алдындағы күйзелісті

бағалаудың қолданыстағы тәсілдері жануарлардың жеке бейімделуін жиі ескермейді, бұл ұша ақауларын болжаудың дәлдігін төмендетеді. Зерттеу барысында Қостанай облысы кәсіпорындарының негізінде автолиз процесіндегі бұлшықет тінінің союдан кейінгі pH деңгейімен салыстыра отырып, негізгі прижизнендік биомаркерлердің – кортизол, лактатдегидрогеназа (ЛДГ) және креатинфосфокиназаның (КФК) негізгі динамикасы зерттелді. Сою алдындағы (антемортемдік) күйзелістік жауаптың қарқындылығы мен сиыр етінің союдан кейінгі pH деңгейінің төмендеуінің блокталуы арасындағы тікелей байланыс анықталды. Эксперименттік алаңды таңдау ет бағытындағы ірі қара малдың ашық ұстау жағдайындағы, оларды өндірістен шығару және кейіннен союға бағыттау кезіндегі адаптациялық ерекшеліктеріне кешенді мониторинг жүргізу мүмкіндігін қамтамасыз етті. Сыни тұрғыдан күйзеліске ұшыраған жануарларда (III топ) кортизолдың ең жоғары концентрациясы (180,70±3,59 нмоль/л) аясында союдан кейін 24 сағатқа қарай pH деңгейі аномальді жоғары 6,32±0,06 белгісінде тіркелетіні, бұл ұшалардың 24%-ында DFD ақауының дамуына әкелетіні эксперименталды түрде дәлелденді. Биохимиялық маркерлерді жедел мониторингтеу мен pH өлшеуді бірыңғай бақылау жүйесіне интеграциялау кәсіпорындарға технологиялық тәуекелдерді жедел анықтауға және экономикалық шығындарды азайтуға мүмкіндік беретіні дәлелденді.

Түйінді сөздер: *тұйық цикл, сою алдындағы күйзеліс, ет сапасы, кортизол, DFD.*

IMPACT OF THE TECHNOLOGICAL REARING PROCESS ON ANIMAL WELFARE UNDER CLOSED-CYCLE PRODUCTION CONDITIONS

Yeleussizova A.T. – PhD, 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, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Tyshtykbayeva S.B. – Master of Veterinary Sciences, Senior Lecturer, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

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

The article addresses meat raw material quality management within the closed technological cycle of "rearing – pre-slaughter handling – primary processing". Existing approaches to assessing pre-slaughter stress often fail to account for individual animal adaptation, reducing carcass defect prediction accuracy. In the research conducted at the Kostanay region enterprises, the dynamics of key antemortem biomarkers – cortisol, lactate dehydrogenase (LDH), and creatine phosphokinase (CPK) – were studied in comparison with post-slaughter muscle tissue pH during autolysis. A direct correlation was established between antemortem stress intensity and the inhibition of post-slaughter pH decline in beef. The experimental site enabled comprehensive monitoring of beef cattle adaptive characteristics under open housing conditions during marketing and slaughter. It was experimentally proven that in critically stressed animals (Group III), against peak cortisol concentration (180.70±3.59 nmol/L), the 24-hour post-slaughter pH level fixes at an anomalously high 6.32±0.06, causing DFD defects in 24% of carcasses. Integrating rapid biochemical monitoring and pH measurement into quality control allows enterprises to promptly identify technological risks and minimize economic losses.

Keywords: *closed cycle, pre-slaughter stress, meat quality, cortisol, DFD.*

Введение. Эффективность современного мясного сектора в рамках вертикально интегрированных систем и замкнутых циклов производства («ферма – убойный пункт») напрямую зависит от минимизации потерь на финальных этапах логистики. Предубойный транзит и кратковременное содержание животных на скотопригонных дворах выступают критическими звеньями технологической цепочки, где кумулятивное воздействие физических и физиологических стресс-факторов (погрузка, транспортное перенапряжение, депривация корма и воды) дестабилизирует гомеостаз КРС [1, с. 2; 2, с. 7].

Патофизиологический механизм антемортемного стресса связан с резкой активацией гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы. Выброс глюкокортикоидов (кортизола) инициирует интенсивный прижизненный анаэробный гликолиз *in vivo*. Истощение запасов мышечного гликогена лимитирует последующее накопление молочной кислоты в процессе автолиза, обуславливая высокий конечный pH говядины и формирование дефекта DFD (dark, firm, dry) [3, с.19; 4, с.111].

Кроме того, нерегламентированные условия логистики приводят к травматизации тканей, увеличивая брак и объемы вынужденных зачисток туш [5, с. 1658].

Для сквозного контроля качества в замкнутом цикле необходим мониторинг прижизненных индикаторов стресса: кортизола (маркер психоэмоционального напряжения), ЛДГ и КФК (индикаторы тканевой гипоксии и микроструктурных повреждений миоцитов) [6, с. 84; 7, с. 5].

Развитие антемортемного стресса приводит к активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, гиперсекреции глюкокортикоидов (в частности, кортизола) и резкому усилению анаэробного гликолиза *in vivo*. В результате интенсивного прижизненного распада гликогена в

мышечной ткани истощаются запасы углеводов, необходимых для нормального протекания послеубойного автолиза. Это влечет за собой нарушение процессов созревания мяса, лимитирует накопление молочной кислоты и приводит к формированию необратимых технологических дефектов качества, таких как DFD (*dark, firm, dry* – темное, жесткое, сухое мясо) или, в некоторых случаях, PSE (*pale, soft, exudative* – бледное, мягкое, водянистое мясо) [8, с. 69; 9, с. 655]. Кроме того, стрессирование и физическое перенапряжение животных в процессе логистики часто сопровождаются микро- и макротравматизацией мышечной ткани и сосудистого русла, увеличивая процент брака, зачисток и гематом на тушах, что наносит существенный экономический ущерб перерабатывающим предприятиям [10, с. 559].

Важное диагностическое значение в оценке интенсивности предубойного стресса у сельскохозяйственных животных имеет мониторинг специфических биохимических маркеров. В многочисленных исследованиях было показано, что сывороточная концентрация кортизола, а также уровень активности лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и креатинфосфокиназы (КФК) являются достоверными и высокочувствительными индикаторами стрессового состояния организма. Эндогенный выброс кортизола позволяет оценить выраженность острого психоэмоционального напряжения животных во время погрузки и транзита [11, с. 14; 12, с. 224]. В свою очередь, динамика мышечных ферментов (ЛДГ и КФК) отражает степень гипоксии тканей, интенсивность анаэробного гликолиза и уровень микроструктурных повреждений миофибрилл, вызванных транспортными перегрузками. Таким образом, сочетанный анализ данных показателей позволяет объективно верифицировать глубину технологического стресса и прогнозировать риски последующего снижения качества мясного сырья [13, с. 112].

Целью данного исследования была комплексная оценка влияния финальных этапов замкнутого цикла производства (выращивание, предубойное содержание и первичная переработка КРС) на физиологический статус животных и обоснование прижизненного мониторинга биомаркеров стресса для минимизации рисков формирования технологических дефектов говядины (DFD).

Задачи.

- Изучить процесс содержания, выращивания животных в условиях откормочной площадки.
- Изучить влияние предубойной выдержки и убоя на состояние здоровья животных.
- Изучить биологические маркеры стресса.

Методы исследования. Экспериментальные исследования по оценке прижизненного стрессового статуса убойных животных проводились в период с ноября 2025 по апрель 2026 г. на базе животноводческого комплекса замкнутого цикла (ТОО «Терра», Костанайская область, Карабалыкский район). Лабораторные исследования выполнялись на базе аккредитованной лаборатории И. В. Смолина (г. Костанай) и в лаборатории контроля пищевой продукции и сырья биологического происхождения Научно-исследовательского института инновационных технологий КРУ имени Ахмет Байтұрсынұлы.

Выбор экспериментальной площадки обеспечил возможность комплексного мониторинга адаптационных особенностей крупного рогатого скота (КРС) мясного скота в условиях открытого содержания, при их выводе из производства и последующем направлении на убой.

Объектом исследования являлись телята мясного направления (породы ангус и беспородистые), в возрасте от 10 мес. до 1 года, находящиеся на интенсивном финальном откорме в условиях открытой откормочной площадки.

Для оценки благополучия животных в процессе откорма и предубойной выдержки в наблюдении находились 3 опытные группы животных (по 25 голов в каждой группе).

В ходе исследовании была проанализирована динамика основных показателей стресса (кортизола, ЛДГ и КФК) у животных во время предубойной выдержки и после убоя. Взятие крови проводили из яремной вены (в области шеи): на этапе предубойной выдержки в загоне и при последующем обескровливании животных во время убоя.

Пробы крови собирали в вакуумированные пробирки (C.D.RICH® Evacuated Tube, Китай) для оценки биохимических показателей и биологических маркеров стресса (кортизол, лактатдегидрогеназа (ЛДГ/ LDH) и креатинфосфокиназа (КФК/ CK)).

Пробы, отобранные прижизненно, хранили в изолированных термоконтейнерах с пакетами льда при температуре около +5 °С и доставляли в лаборатории. Центрифугирование образцов проводили при 1330 g (для гепаринизированной крови) и при 2500 об/мин (для негепаринизированных образцов сыворотки) в течение 10 мин. Полученную плазму замораживали и хранили при температуре –20 °С до проведения лабораторного анализа.

Статистическую обработку результатов проводили методами вариационной статистики с вычислением средних значений, стандартных ошибок среднего и достоверности различий по критерию Стьюдента. Результаты признавались статистически значимыми при $p \leq 0.05$.

Концентрацию водородных ионов (pH) в мышечной ткани определяли потенциометрическим методом через 1 и 24 часа после убоя непосредственно в полутушах на глубине 3–5 см с использованием портативного pH-метра для мяса, прошедшего предварительную калибровку по буферным растворам с pH 4,01 и 7,00.

Результаты. Исследования проводились на базе животноводческого комплекса с замкнутым технологическим циклом выращивания, что исключает этап транспортировки животных, являющийся критическим стресс-фактором. Молодняк КРС мясного направления (телята) поступает в животновод-

ческий комплекс в возрасте трех месяцев и содержится в загонах открытого типа до достижения массы (более 450 кг) и упитанности, пригодных для реализации. Данная модель организации производства позволяет минимизировать уровень предубойного стресса и обеспечить непрерывный ветеринарный мониторинг на всех этапах выращивания и откорма. Животные находятся в условиях, максимально приближенных к естественным, однако подвержены влиянию климатических факторов региона.

Результаты наблюдения процесса содержания, откорма и его влияние на благополучие животных в условиях замкнутого цикла производства представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты оценки процесса содержания и выращивания телят в условиях откормочной площадки ТОО «Терра»

Показатели	**Период исследований, кол-во гол.**	
	осенне-зимний (n=50)	**весна (n=25)**
Среднесуточная темп. воздуха, °С	-12,5; -25	-5.0; +8.0
Условия содержания животных	Под открытым небом, в ограждённом загоне с глубокой соломенной подстилкой, которая регулярно обновляется; защита от ветра обеспечивается частично за счёт деревянных щитов; животные имеют постоянный доступ к воде и корму, а также возможность свободного передвижения в пределах загона; освещение и микроклимат полностью зависят от естественных погодных условий.	
Поведение животных	Активность умеренная, чаще передвигаются, проявляют внутригрупповое взаимодействие	
Клинический статус животных: в т.ч. - Состояние слизистых оболочек	Бледно-розовые, влажные, блестящие, без видимых повреждений и наложений.	
- Шерстный покров	Густой, плотный, с развитым подшерстком, плотно прилегающий, матовый.	На стадии сезонной линьки, местами взъерошенный, менее плотный, тусклый.
- Аппетит	Высокий, устойчивый, поедаемость корма активная	
Суточное потребление корма, (кг)	14.0–14.5	12.5–13.0
Суточное потребление воды, (л)	40-45	45-50
Прирост живой массы, (г/сут)	950 – 1050	1100 – 1200
Частота дыхательных движений (ЧДД), мин	25.1±0.7	30.4±1.3
Частота сердечных сокращений (ЧСС), мин	80.4±1.2	85.8±1.8
Температура тела, Т°С	38,6 ±0,6	39,1±0,3

Анализ условий содержания и состояния крупного рогатого скота в разные сезоны выявил четкие изменения в их поведении и продуктивности.

В осенне-зимний период (при температуре от минус 12,5 до минус 25,0 °С) бычки много двигались и активно поедали корм – 14,0-14,5 кг в сутки. Среднесуточный привес составлял 950-1050 г. Повышенный аппетит при умеренном росте веса связан с тем, что в морозы много энергии уходило на согревание тела. Защитой от холода служила густая плотная шерсть с развитым подшерстком. Потребление воды составляло 40-45 л.

В весенний период (при температуре от минус 5,0 до + 8,0 °С) суточное потребление корма снизилось до 12,5–13,0 кг, а расход воды вырос до 45–50 л. При этом привесы заметно увеличились – до 1100-1200 г в сутки. Это объясняется тем, что с потеплением затраты на обогрев организма снизились, и питательные вещества пошли на рост. При осмотре весной у бычков отмечалась обычная сезонная линька, поэтому шерсть местами была тусклой и взъерошенной.

В оба сезона видимые слизистые оболочки у всех животных оставались бледно-розовыми, влажными и без повреждений. Это доказывает, что принятая технология содержания под открытым небом полностью обеспечивает сохранение здоровья и адаптацию скота.

Следующим шагом в технологическом процессе замкнутого цикла предприятия был перевод крупного рогатого скота на предубойную выдержку. Результаты влияния условий предубойной выдержки на физиологические показатели животных представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Влияние условий предубойной выдержки на благополучие животных

Показатель	**Период исследований, кол-во гол.**	
	осенне-зимний (n=50)	**весна (n=25)**
Время выдержки, ч	24	24
Условия содержания	Убойные животные находились под открытым небом, в загоне размером 4х4 метра. Животных размещали группами по 10 голов на глубокой соломенной подстилке и деревянными щитами для частичной защиты от ветра. Поилки находились в свободном доступе.	
Двигательная активность (баллы 1-5)	4.2	3.8
Поведение животных	Беспокойное, возбужденное. Животные часто меняют положение тела, проявляют признаки оборонительного поведения и борьбы за место из-за нехватки площади. Равномерное распределение по загону отсутствует.	
Частота дыхательных движений (ЧДД), мин	40.1±0.2	48,6±1.1
Частота сердечных сокращений (ЧСС), мин	120.4±1.1	126,2±1.4
Температура тела, Т°С	39,8 ±0,7	40,1±0,6

Анализ физиологического состояния бычков в период 24-часовой предубойной выдержки показал, что условия размещения оказали заметное влияние на поведение и клинические показатели животных.

Размещение бычков группами по 10 голов в загоне размером 4х4 метра создавало высокую плотность посадки – всего 1,6 кв. м площади на одно животное. Такой дефицит пространства привел к выраженному изменению поведения скота в оба периода исследований. Животные вели себя беспокойно и возбужденно, часто меняли положение тела и конфликтовали за место в загоне, из-за чего их равномерное распределение по площади отсутствовало. При этом двигательная активность в осенне-зимний период была несколько выше и составила 4,2 балла, тогда как в зимне-весенний период она снизилась до 3,8 баллов.

Технологическая скученность в сочетании с погодными условиями вызвала напряжение в работе дыхательной и сердечно-сосудистой систем бычков, что наиболее ярко проявилось в зимне-весенний период. Частота дыхательных движений (ЧДД) у животных весной достоверно выросла до 48,6 ± 1,1 в минуту, что значительно выше показателей осенне-зимнего периода (40,1 ± 0,2 в минуту).

Аналогичная тенденция обнаружена и при анализе пульса. Частота сердечных сокращений (ЧСС) в зимне-весенний период достоверно увеличилась до 126,2 ± 1,4 ударов в минуту против 120,4 ± 1,1 ударов в минуту в осенне-зимний период.

Несмотря на то, что абсолютные значения ЧДД и ЧСС оставались в пределах физиологической нормы для здорового КРС, их достоверный рост свидетельствует о повышенной стрессовой нагрузке на организм в зимне-весеннее время. В переходный период из-за повышенной влажности воздуха и перепадов температур бычки острее реагируют на тесноту, затрачивая больше внутренних ресурсов на адаптацию перед убоем.

Следующим технологическим этапом является процесс убоя. Убойный пункт Терра расположен на территории комплекса ТОО «Терра». Данный пункт состоит из зоны убойного цеха, цеха переработки и разделки, упаковочного участка и холодильных камер.

Физиологические состояния отражает интенсивность метаболических процессов в ответ на данные реакции у животных всех трех групп, которые представлены в Таблице 3.

Таблица 3. – Влияние процесса убоя на состояние животных в условиях убойного пункта ТОО «Терра»

Показатель	Результаты исследований, кол-во голов (n=75)
Физиологический статус	Острая стрессовая реакция: выраженная тахикардия, гипертермия
Частота сердечных сокращений (ЧСС), мин	141±0,9
Температура тела, Т°С	41,1±0,3
Реакция на шум	Повышенная пугливость, судорожные вздрагивания, острая оборонительная реакция, паника, активные попытки к бегству, интенсивное мычание.
Поведение в станке	Хаотичные движения, сильный тремор конечностей, частые падения и отказ двигаться вперед из-за мышечного утомления.
Качество фиксации	Хорошее (полное). Фиксация достигается быстро из-за слабой сопротивляемости животных.
Травматизм	Минимальный. Кол-во животных- 2, были поверхностные гематомы в точках соприкосновения с прижимами из-за активного сопротивления крупных особей.
Риск потерь	Умеренный. Короткое время фиксации снижает риски ухудшения качества мяса, пороки DFD проявляются реже благодаря скорости убоя.

Убой животных всех трех опытных групп осуществлялся с использованием специализированного ротационного бокса для ритуального убоя (тип «Халяль»). Животные направлялись в ротационный бокс, где осуществлялась жесткая фиксация тела и головы для обеспечения безопасности персонала и соблюдения норм убоя, после чего станок поворачивают на 180 градусов, затем квалифицированный резник производит быстрый и глубокий поперечный разрез мягких тканей шеи, захватывая сонные артерии, яремные вены, трахею и пищевод.

Данный этап является критическим, так как ограничение свободы перемещения воспринимается животным как угроза.

Анализ поведенческих и технологических показателей животных на этапе их фиксации в ротационном боксе перед убоем свидетельствует о развитии у них выраженного предсмертного стресс-синдрома.

Оценка физиологического статуса животных выявила острую стрессовую реакцию, которая клинически проявлялась в виде выраженной тахикардии (ЧСС-141±0,9 мин) и гипертермии (41,1±0,3°С).

Среди убойных животных отмечались повышенная пугливость, судорожные вздрагивания, панические состояния и интенсивное мычание. Животные проявляли острую оборонительную реакцию и совершали активные попытки к бегству.

При загоне в фиксационный станок поведение животных становилось хаотичным, отмечался сильный тремор конечностей. Ситуация усугублялась тем, что животные отчетливо чувствовали запах крови от предыдущих технологических операций, что провоцировало у них острую оборонительную реакцию. Из-за нарастающего мышечного утомления животные часто падали и полностью отказывались продвигаться вперед по убойному каналу.

Несмотря на высокое психоэмоциональное напряжение, качество фиксации в ротационном боксе оценивалось как удовлетворительное. Технологическое ограничение подвижности достигалось быстро, что объясняется общим физическим истощением и слабой сопротивляемостью утомленных животных на заключительном этапе.

После разреза животное остается в боксе до полной остановки сердечной деятельности. Боковая часть ротационного бокса открывается и животное падает на решетчатую часть до полного обескровливания туши.

Благодаря скорости проведения манипуляций, уровень прижизненного травматизма удалось сохранить на минимальном уровне (n=2).

В связи с высокой скоростью убойной операции и коротким временем нахождения бычков в фиксированном состоянии, риск технологических потерь оценивается как умеренный.

С целью оценки глубины стрессового воздействия были оценены биохимические показатели крови и гуморальных факторов стресса.

Результаты представлены в Таблице 4.

Таблица 4. – Результаты биохимического анализа крови убойных животных

Показатель	Единицы	Контрольная группа (n=25)	Группа I (n=25)	Группа II (n=25)	Группа III (n=25)
Глюкоза	ммоль/л	2,2 – 3,9	3,025 ± 0,09	2,71 ± 0,07	3,42 ± 0,13

Продолжение таблицы 4

Мочевина	мг/дл	8-25	13,2 ± 0,11	19,2 ± 0,02	14,8 ± 0,09
Лейкоциты	$*10^9$/л	4,0 – 10,0 × 10^9 /л	10,43 ± 0,23	9,60 ± 0,19	11,70 ± 0,27
Креатинин	мг/дл	1,0-2,0	1,01 ± 0,01	1,06 ± 0,03	1,12 ± 0,02
Кортизол	нмоль/л	15,0–85,0	141,43 ± 2,80	118,80 ± 2,30	180,70 ± 3,59
ЛДГ	Ед/л	300–800	681,35 ± 9,86	632,75 ± 8,66	736,85 ± 13,99
КФК	Ед/л	50–350	436,16 ± 9,21	367,49 ± 7,47	539,39 ± 10,98

По результатам таблицы 4 уровень глюкозы во всех группах (от 2,71 до 3,42 ммоль/л) находится в пределах нормы (2,2–3,9 ммоль/л). Наиболее высокие значения наблюдаются в III группе, что может указывать на активацию энергетических ресурсов. Значение мочевины во всех экспериментальных группах соответствует показателям контрольной группы (8–25 мг/дл), в пределах от 13,2 до 19,2 мг/дл. Наблюдается тенденция к лейкоцитозу (превышение нормы 4,0–10,0 × 10^9/л) во всех группах, особенно в III (11,70 × 109/л), что может отражать реакцию организма на стрессовые факторы. Показатель креатинина находятся в диапазоне от 1,01 до 1,12 мг/дл. Значительное превышение показателей значений кортизола, ЛДГ и КФК во всех группах является классическим примером острого предзабойного стресса и повышенной мышечной активности. Максимальные значения зафиксированы в III группе, что говорит о наиболее выраженном стрессовом ответе именно у этих животных.

Для объективного подтверждения утверждения о формировании технологического порока DFD под влиянием предубойного стресса была изучена концентрация водородных ионов (pH) в мышечной ткани подопытных животных в процессе автолиза.

Результаты представлены в Таблице 5.

Таблица 5. – Динамика pH мышечной ткани убойных животных в зависимости от интенсивности предубойного стресса

Показатель	Контрольная группа (n=25)	Группа I (n=25)	Группа II (n=25)	Группа III (n=25)
pH через 1 ч после убоя	6,15 ± 0,05	6,22 ± 0,04	6,18 ± 0,06	6,45 ± 0,05
pH через 24 ч после убоя	5,55 ± 0,03	5,72 ± 0,04	5,61 ± 0,05	6,32 ± 0,06
Выявляемость дефекта DFD, %	0	4,0 (1 гол.)	0	24,0 (6 гол.)

По результатам таблицы 5 pH показал, что у бычков контрольной группы и II группы послеубойный автолиз протекал в пределах физиологической нормы: к 24 часам произошло созревание мяса и уровень pH снизился до 5,55±0,03 и 5,61±0,05 соответственно.

В то же время у животных III группы, испытавших максимальный уровень психоэмоционального и мышечного напряжения при предубойной фиксации (что подтверждается пиковыми значениями кортизола – 180,70±3,59 нмоль/л, ЛДГ и КФК), снижение pH было заблокировано. Из-за прижизненного истощения запасов гликогена конечный уровень pH через 24 часа зафиксирован на аномально высокой отметке – 6,32±0,06, что превышает показатели других групп. В соответствии с критериями ветеринарно-санитарной экспертизы, данное состояние мышечной ткани характеризует необратимый порок качества DFD, который был определен у 24,0% туш данной группы.

Заключение. Проведенные исследования показывают, что технология содержания крупного рогатого скота мясного направления в условиях замкнутого цикла обеспечивает благополучие животных, однако процесс предубойной выдержки и фиксации является критическим стресс-фактором. Установлена сезонная зависимость продуктивности и метаболической активности: в зимне-весенний период при снижении затрат энергии на терморегуляцию наблюдалось повышение среднесуточных приростов живой массы (до 1100–1200 г/сут).

Установлено, что критическим моментом, нарушающим благополучие животных, является высокая плотность размещения в период предубойной выдержки (1,6 м²/гол). Дефицит пространства провоцирует беспокойство, конфликтное поведение и физическое напряжение, что подтверждается достоверным ростом частоты сердечных сокращений и дыхательных движений, особенно в зимне-весенний период. Данный этап является первичным звеном формирования стрессовой нагрузки перед убоем.

Анализ показателей крови на этапе фиксации и обескровливания выявил развитие острого предсмертного стресс-синдрома у всех подопытных животных. Зафиксирована значительное повышение

кортизола (до 180,70±3,59 нмоль/л), свидетельствующая о выраженном психоэмоциональном шоке. Достоверное превышение физиологических норм активности ферментов ЛДГ и КФК подтверждает повреждение мышечных волокон и их мембран вследствие интенсивной борьбы и силового сопротивления животных при фиксации в ротационном боксе.

Реализованная модель замкнутого цикла производства позволяет достичь высоких показателей выращивания, однако требует оптимизации этапа предубойной подготовки. Последовательность метаболических ответов (где III группа стабильно демонстрирует наивысший уровень стресса) указывает на необходимость увеличения площади загонов и сокращения времени принудительной фиксации. Минимизация данных факторов позволит предотвратить негативные сдвиги в биохимическом статусе бычков и обеспечит получение мясного сырья высокого качества, исключая проявление пороков DFD.

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").

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Протоколы лабораторных исследований сыворотки крови убойных животных методом ЭХЛ № Корт-04/26 от 28.04.2026 г.** [Текст] // ИП «Смолин И.В.» – Костанай.

2. **Научно-производственные отчеты по биохимическому и гормональному мониторингу КРС от 05.12.2025 г., 11.12.2025 г., 12.12.2025 г.** [Текст] // НАО «КРУ им. А. Байтұрсынұлы» – Костанай.

3. **Карташов, Н. И., Петров, В. А. Патофизиология стресса у продуктивных животных при транспортировке и убое** [Текст] / Карташов Н. И., Петров В. А. // Ветеринария и кормление. – 2023. – № 4. – С. 18–22.

4. **Grandin, T. Effect of animal welfare on meat quality** [Текст] / T. Grandin // Meat Science. – 2020. – Vol. 165. – P. 108–115.

5. **Carrasco-García, A. A., Pardio-Sedas, V. T., León-Banda, G. G., Ahuja-Aguirre, C., Paredes-Ramos, P., Hernández-Cruz, B. C., & Vega Murillo, V. Effect of stress during slaughter on carcass characteristics and meat quality in tropical beef cattle** [Текст] / A. A. Carrasco-García et al.// *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. – 2020. – *33*(10). – P. 1656–1665. – DOI: https://doi.org/10.5713/ajas.19.0804.

6. **Terlouw, E. M. C., Picard, B., Deiss, V., Berri, C., Hocquette, J.-F., Lebret, B., Lefèvre, F., Hamill, R., & Gagaoua, M. Understanding the determination of meat quality using biochemical characteristics of the muscle: Stress at slaughter and other missing keys**. [Текст] / E. M. Terlouw et al.// *Foods*. – 2021. – 10. – P. 84.

7. **Бусловская, Л.К., Ковтуненко, А.Ю., Рыжкова, Ю.П. Адаптационные реакции у коров при технологических операциях** [Текст] / Бусловская Л.К., Ковтуненко А.Ю., Рыжкова Ю.П. // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2019.- № 2 (12). – С. 3-9.

8. **Дерюгина, А.В., Иващенко, М.Н., Игнатьев, П.С. и др. Морфофункциональные показатели эритроцитов крупного рогатого скота при стрессе и его коррекции низкоинтенсивным лазерным излучением** [Текст] / Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Игнатьев П.С. [и др.] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 1. – С. 67-71.

9. **Muchenje, V., Dzama, K., Edward Webb, E. C., & Strydom, P. E. Relationship between pre-slaughter stress responsiveness and beef quality in three steer breeds** [Текст] / V. Muchenje et al.// Meat Science. – 2009. – 81(4). – P. 653-657.

10. **Bourguet, C., Deiss, V., Tannugi, C. C ., & Terlouw, E. M. C. Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: relationships with meat quality traits** [Текст] / C. Bourguet et al.// Meat Science. – 2011. – 88(3). – P. 558-565.

11. **Ferguson, D. M., & Warner, R. D. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants** [Текст] / D. M. Ferguson et al.// Meat Science. – 2008. – 80(1). – P. 12-19.

12. **Pighin, D. G., Pazos, A., Chamorro, V., et al. Impact of pre-slaughter handling on objective indicators of stress and meat quality in cattle** [Текст] / D. G. Pighin et al.// Meat Science. – 2013. – 95(2). – P. 223-228.

13. **Gagaoua, M., Picard, B., Soulat, J., & Monteils, V. Biomarkers of beef meat quality: A focus on tenderness, color, and water-holding capacity** [Текст] / M. Gagaoua et al.// Meat Science. – 2015. – 109. – P.107-118.

REFERENCES:

1. **Protokoly' laboratorny'h issledovanij sy'vorotki krovi ubojny'h zhivotny'h metodom EHL No. Kort-04/26 ot 28.04.2026 g**. [Laboratory protocols of blood serum examination of slaughtered animals by ECL method]. 2026, IP «Smolin I.V.», Kostanay. (In Russian)

2. **Nauchno-proizvodstvenny'e otchety' po biohimicheskomu i gormonal'nomu monitoringu KRS ot 05.12.2025 g., 11.12.2025 g., 12.12.2025 g**. [Scientific and production reports on biochemical and hormonal

monitoring of cattle dated 05.12.2025, 11.12.2025, 12.12.2025]. 2025, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay. (In Russian)

3. **Kartashov N.I., Petrov V.A. Patofiziologiya stressa u produktivny'h zhivotny'h pri transporti-rovke i uboe** [Pathophysiology of stress in productive animals during transport and slaughter]. *Veterinariya i kormlenie*, 2023, (4), pp. 18-22 (In Russian)

4. **Grandin T. Effect of animal welfare on meat quality**. *Meat Science*, 2020, vol. 165, pp. 108-115.

5. **Carrasco-García A.A., Pardio-Sedas V.T., León-Banda G.G., et. al. Effect of stress during slaughter on carcass characteristics and meat quality in tropical beef cattle.** *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2020, 33(10), pp. 1656-1665.

6. **Terlouw E.M.C., Picard B., Deiss V., et al. Understanding the determination of meat quality using biochemical characteristics of the muscle: Stress at slaughter and other missing keys**. *Foods*, 2021, vol. 10, art. 84.

7. **Buslovskaya L.K., Kovtunenko A.Yu., Ryzhkova Yu.P. Adaptacionny'e reakcii u korov pri tehnologicheskih operaciyah** [Adaptation reactions in cows during technological operations]. *Aktualny'e voprosy' sel'skohozyajstvennoj* biologii, 2019, (2), pp. 3-9 (In Russian)

8. **Deryugina A.V., Ivashchenko M.N., Ignatyev P.S., et al. Morfofunkcional'ny'e pokazateli e'ritrocitov krupnogo rogatogo skota pri stresse i ego korrekcii nizkointensivny'm lazerny'm izlucheniem** [Morphofunctional indicators of cattle erythrocytes under stress and its correction by low-intensity laser radiation]. *Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*, 2021, (1), pp. 67-71 (In Russian).

9. **Muchenje V., Dzama K., Edward Webb E.C., Strydom P.E. Relationship between pre-slaughter stress responsiveness and beef quality in three steer breeds.** *Meat Science*, 2009, 81(4), pp. 653-657.

10. **Bourguet C., Deiss V., Tannugi C. C., Terlouw E.M.C. Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationships with meat quality traits.** *Meat Science*, 2011, 88(3), pp. 558-565.

11. **Ferguson D. M., Warner R.D. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants.** *Meat Science*, 2008, 80(1), pp. 12-19.

12. **Pighin D.G., Pazos A., Chamorro V., et al. Impact of pre-slaughter handling on objective indicators of stress and meat quality in cattle.** *Meat Science*, 2013, 95(2), pp. 223-228.

13. **Gagaoua M., Picard B., Soulat J., Monteils V. Biomarkers of beef meat quality: A focus on tenderness, color, and water-holding capacity.** *Meat Science*, 2015, 109, pp. 107-118.

Дата поступления: 19 июня 2026 г. **Принято:** 11 августа 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

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.*

Батырбеков Асылбек Нурлыбекович – кандидат ветеринарных наук, заместитель декана по учебной работе, факультет 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.

Тыштыкбаева Сания Бикмановна – магистр ветеринарных наук, ст. 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: saniya_yz@mail.ru.

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

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

Тыштыкбава Сания Бикмановна – ветеринария ғылымдарының магистрі, ветеринариялық санитария кафедрасының аға оқытушысы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік

университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы 110000, Қостанай қ., Маяковский көш, 99/1, 4 ғимарат, тел.: 87778987161, e-mail: saniya_yz@mail.ru.

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

Yeleussizova Anara Tulegenovna – PhD, Associate Professor, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy, bld. 4, tel.: 87142537876, e-mail: yeleusizova_a@inbox.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, bld. 4, tel.: 87057125099, e-mail: asylbek555@mail.ru.

Tyshtykbayeva Saniya Bikmanovna – Master of Veterinary Sciences, Senior Lecturer, Department of veterinary sanitation, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 99/1 Mayakovskiy, bld. 4, tel.: 87778987161, e-mail: saniya_yz@mail.ru.

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

МРНТИ 68.41.49
УДК 618.19-002:575.22:636.234.1
https://doi.org/10.52269/SEPT2631068

СОДЕРЖАНИЕ СОМАТИЧЕСКИХ КЛЕТОК В МОЛОКЕ КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ И ЕГО СВЯЗЬ С ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИЕЙ

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

Қанатов Б. – кандидат ветеринарных наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», г. Алматы, Республика Казахстан.

Ниязбекова Ж.Н. – PhD доктор, старший преподаватель кафедры биологической безопасности, 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.

В работе изучено содержание соматических клеток (SCC) в молоке коров голштинской породы и оценена его связь с воспроизводительной способностью животных. Актуальность исследования обусловлена тем, что повышенный уровень соматических клеток является важным индикатором состояния молочной железы, риска субклинического мастита, снижения качества молока и возможного ухудшения репродуктивной функции коров. Исследование проведено на базе молочного комплекса ТОО «Байсерке-Агро» Алматинской области с использованием данных контрольной дойки 515 коров и журнала учёта отёлов. Содержание соматических клеток в молоке определяли с помощью анализатора Fossomatic FC; результаты выражали в тыс. клеток/мл молока. Животных распределяли по категориям SCC и возрастным группам, после чего оценивали распространённость повышенного содержания соматических клеток, возрастные особенности показателя и его связь с воспроизводительными параметрами. Установлено, что у 67,6% животных уровень SCC превышал 150 тыс./мл, а у 23,7% коров значения были выше 1000 тыс./мл. С увеличением возраста отмечалось повышение доли животных с высоким SCC; корреляция между возрастом и содержанием соматических клеток составила r ≈ 0,42. По данным журнала учёта отёлов было рассчитано 705 межотельных интервалов; средняя продолжительность составила 461,8 дня, медиана – 419 дней. Повышенный SCC ассоциировался с ухудшением воспроизводительных показателей, включая удлинение межотельного интервала и сервис-периода. Таким образом, у исследуемых коров наблюдается тенденция увеличения цифрового значения индекса осеменения коров с увеличением количества соматических клеток в молоке, что является нежелательным явлением для молочных ферм. Полученные результаты подтверждают практическую значимость регулярного мониторинга SCC для раннего выявления животных группы риска, профилактики мастита и повышения эффективности воспроизводства молочного стада.

Ключевые слова: *соматические клетки, SCC, молоко коров, субклинический мастит, репродуктивная функция, сервис-период, межотельный интервал.*

ГОЛШТЕИН ТҰҚЫМДЫ СИЫРЛАРДЫҢ СҮТІНДЕГІ СОМАТИКАЛЫҚ ЖАСУШАЛАР МӨЛШЕРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ӨСІП ӨНУ ҚЫЗМЕТІМЕН БАЙЛАНЫСЫ

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

Қанатов Б.К. – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Ниязбекова Ж.Н. – PhD докторы, «Биологиялық қауіпсіздік» кафедрасының аға оқытушысы, «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.

Бұл жұмыста голштеин тұқымды сиырлар сүтіндегі соматикалық жасушалар саны (SCC) зерттеліп, оның жануарлардың ұдайы өндіру қабілетімен байланысы бағаланды. Зерттеудің өзектілігі соматикалық жасушалар санының жоғарылауы желін саулығын, субклиникалық маститтің даму қаупін, сүт сапасының төмендеуін және сиырлардың репродуктивтік қызметінің бұзылуын сипаттайтын маңызды көрсеткіштердің бірі болып табылуымен негізделеді. Зерттеу Алматы облысында орналасқан «Байсерке-Агро» ЖШС сүт кешенінде жүргізілді. Зерттеу материалы ретінде 515 голштин тұқымды сиырдың бақылау сауу деректері және төлдеу есебі журналы пайдаланылды. Сүттегі соматикалық жасушалар саны Fossomatic FC анализаторы арқылы анықталып, нәтижелер мың жасуша/мл бірлігімен көрсетілді. Жануарлар SCC деңгейіне және жас ерекшеліктеріне қарай топтастырылып, соматикалық жасушалар санының жоғарылау жиілігі, оның жасқа байланысты өзгерісі және ұдайы өндіру көрсеткіштерімен байланысы талданды. Зерттеу нәтижелері бойынша жануарлардың 67,6%-ында SCC деңгейі 150 мың/мл-ден жоғары, ал сиырлардың 23,7%-ында бұл көрсеткіш 1000 мың/мл-ден жоғары болғаны анықталды. Жануарлардың жасы ұлғайған сайын SCC деңгейі жоғары сиырлардың үлесі артты; жас пен соматикалық жасушалар саны арасындағы корреляциялық байланыс r ≈ 0,42 құрады. Төлдеу есебі журналы бойынша 705 төлдеу аралығы есептеліп, оның орташа ұзақтығы 461,8 күнді, медианасы 419 күнді құрады. SCC деңгейінің жоғары болуы төлдеу аралығы мен сервис-кезеңнің ұзаруымен сипатталатын ұдайы өндіру көрсеткіштерінің нашарлауымен байланысты болды. Таким образом, у исследуемых коров наблюдается тенденция увеличения цифрового значения индекса осеменения коров с увеличением количества соматических клеток в молоке, что является нежелательным явлением для молочных ферм. Алынған нәтижелер сүтті табында SCC көрсеткішін тұрақты бақылаудың қауіп тобындағы жануарларды ерте анықтау, маститтің алдын алу және ұдайы өндіру тиімділігін арттыру үшін практикалық маңызы жоғары екенін көрсетеді.

***Түйінді сөздер:** соматикалық жасушалар, SCC, сиыр сүті, субклиникалық мастит, ұдайы өндіру қабілеті, сервис-кезең, төлдеу аралығы.*

SOMATIC CELL COUNT IN HOLSTEIN COW MILK AND ITS ASSOCIATION WITH REPRODUCTIVE PERFORMANCE

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

Kanatov B. – Candidate of Veterinary Sciences, Kazakh Research Veterinary Institute LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Niyazbekova Z.N. – PhD, Senior Lecturer, Department of Biological Safety, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Almaty, Republic of Kazakhstan.

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

This study examined the somatic cell count (SCC) in the milk of Holstein cows and evaluated its association with reproductive performance. The relevance of the study is determined by the fact that elevated SCC is an important indicator of udder health, the risk of subclinical mastitis, reduced milk quality, and possible impairment of reproductive function in dairy cows. The research was conducted at the Baiserke-Agro LLP dairy farm in Almaty region using test-day milk recording data from 515 cows and calving records. Somatic cell count was determined using a Fossomatic FC analyzer; the results were expressed as thousand cells/mL of milk. The animals were classified by SCC categories and age groups, after which the prevalence of elevated SCC, age-related changes in this indicator, and its association with reproductive parameters were assessed. It was found that 67.6% of the animals had SCC levels exceeding 150 thousand cells/mL, while 23.7% of cows had values above 1000 thousand cells/mL. As cow age increased, the proportion of animals with high SCC also rose; the correlation between age and somatic cell count was r ≈ 0.42. According to calving records, 705 calving intervals were calculated; the mean duration was 461.8 days, and the median was 419 days. Elevated

SCC was associated with poorer reproductive indicators, including longer calving intervals and service periods. Thus, the cows studied showed a tendency for the insemination index to increase with increasing somatic cell count in milk, which is an undesirable phenomenon for dairy farms. The obtained results confirm the practical importance of regular SCC monitoring for early identification of at-risk animals, mastitis prevention, and improvement of reproductive efficiency in dairy herds.

Keywords: *somatic cell count, SCC, cow milk, subclinical mastitis, reproductive performance, service period, calving interval.*

Введение. Соматические клетки молока представляют собой совокупность клеток эпителия молочной железы и клеток иммунной системы, которые в норме присутствуют в молоке. Их содержание широко используется как показатель, характеризующий состояние молочной железы и качество молока. Уровень соматических клеток зависит от продуктивности животных, состояния их здоровья, стадии и номера лактации, а также породных особенностей. Уровень соматических клеток может отражать общее физиологическое состояние организма, что имеет значение при оценке репродуктивной функции коров [1, с. 562]. В ряде исследований изучена взаимосвязь содержания соматических клеток с показателями репродуктивной функции коров. В ходе исследования оценивалась вероятность наступления беременности в зависимости от динамики изменения SCC (здоровые животные, при пороговом значении 150 000 клеток/мл), а также от степени его выраженности. Полученные результаты показали, что увеличение уровня соматических клеток сопровождается снижением вероятности наступления беременности. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что повышение содержания соматических клеток ассоциируется с ухудшением репродуктивной функции коров [2, с. 6251]. Аналогичные закономерности установлены и в других исследованиях, посвящённых коровам голштинской породы. Так, в специализированных молочных стадах южного региона Бразилии были проанализированы репродуктивные показатели первотёлок и многократно отелившихся коров с учётом уровня соматических клеток в молоке. В качестве основных показателей рассматривались молочная продуктивность, содержание соматических клеток, жира, белка и мочевины в молоке, а также репродуктивные характеристики, включая число осеменений на одну беременность, сервис-период и процент стельных коров. Установлено, что процент стельных коров был выше при уровне соматических клеток менее 200 000 клеток/мл, а также у первотёлок. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что уровень соматических клеток является более значимым фактором, связанным с эффективностью воспроизводства [3, с. 343].

В исследовании высокопродуктивного стада айрширского скота, содержащегося в условиях северного региона России, рассматривались показатели воспроизводства, включая индифферентный период, период осеменения, сервис-период, индекс осеменения, оплодотворяемость после первого осеменения и уровень ранней эмбриональной смертности. Полученные результаты исследования показали, что повышение уровня соматических клеток в последние месяцы лактации может приводить к ухудшению репродуктивных показателей в последующем, включая увеличение риска эмбриональной смертности [4, с. 1]. В исследовании, проведённом в Польше на основе 88 745 контрольных доек от 55 685 коров голштино-фризской породы, показано, что увеличение содержания соматических клеток в молоке сопровождается ухудшением репродуктивных показателей: интервал между отёлами увеличивается, сервис-период удлиняется, а число осеменений на одну беременность возрастает. Авторы подчёркивают, что регулярный контроль соматических клеток может служить эффективным инструментом управления воспроизводительной функцией стада [5, с. 433]. Известно, что у коров с уровнем соматических клеток менее 100x10³ клеток/мл наблюдаются более низкие значения сервис-периода и интервала между отёлами по сравнению с коровами с более высоким уровнем SCC. При этом выявлена положительная корреляция между уровнем соматических клеток и продолжительностью сервис-периода. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования SCC как косвенного признака при отборе животных с целью улучшения воспроизводительных показателей [6, с. 1285]. В исследовании, проведённом на молочных фермах Испании установлено, что повышение количества соматических клеток, увеличение возраста при первом отёле и удлинение интервала между отёлами приводят к снижению технической эффективности и экономическим потерям [7, с. 7141]. Влияние количества соматических клеток на репродуктивную функцию связано, в том числе, с изменениями гормональной регуляции. В одном из исследований показано, что повышение SCC в дородовом периоде сопровождается сокращением продолжительности беременности и связано с повышением уровня простагландинов и снижением концентрации прогестерона [8, с. 433]. Простагландин F2α участвует в регуляции репродуктивных процессов, влияя на гормональную среду и васкуляризацию фолликулов [9, с. 30], тогда как прогестерон играет ключевую роль в поддержании беременности, и его снижение сопровождается ухудшением репродуктивных показателей [10, с. 5951]. В ряде исследований показано, что повышение уровня соматических клеток в сочетании с метаболическими нарушениями усиливает отрицательное влияние на репродуктивную функцию. Так, при субклиническом кетозе вероятность наступления беременности дополнительно снижается, особенно при одновременном повышении SCC [11, с. 18]. Важное значение имеет состояние молочной железы в сухостойный период. У коров с новыми или хроническими инфекциями в этот период уровень соматических клеток в

последующей лактации остаётся более высоким, а риск клинических форм заболевания и выбраковки увеличивается [12, с. 640].

Результаты исследования показывают, что субклинические нарушения состояния молочной железы сопровождаются увеличением интервала от отёла до первого осеменения, ростом числа осеменений на одну беременность. При этом выявлены гормональные изменения, включая снижение уровня прогестерона и повышение концентрации кортизола, что указывает на участие эндокринных механизмов в реализации данного эффекта [13, с. e16793]. Вместе с тем следует отметить, что результаты отдельных исследований свидетельствуют о неоднозначности влияния повышенного уровня соматических клеток на воспроизводительные показатели. Так, в хозяйствах США установлено, что высокий SCC в начале лактации связан со снижением молочной продуктивности и повышенным риском выбраковки, однако достоверного влияния на вероятность наступления беременности выявлено не было [14, с. 2140]. Высокий уровень соматических клеток может оказывать влияние на показатели потомства. У потомства коров с высоким SCC отмечаются худшие репродуктивные показатели, снижение молочной продуктивности и уменьшение овариального резерва [15, с. 79]. Наличие патогенной микрофлоры также оказывает отрицательное влияние на воспроизводство. Показано, что при повышенном уровне соматических клеток и наличии бактерий вероятность успешного эмбриотрансфера снижается [16, с. 291]. При субклиническом мастите увеличивается интервал от отёла до зачатия и число осеменений на одну беременность [17, с. 109]. В условиях Казахстана также отмечается значительная распространённость субклинических нарушений состояния молочной железы, что подтверждает актуальность проблемы и необходимость совершенствования методов диагностики и контроля [18, с. 123].

Отечественные исследования подтверждают актуальность изучения связи между состоянием молочной железы, эндометритом и воспроизводительной функцией коров. Так, в работе Jakupov I. и соавторов отмечается, что послеродовой эндометрит у высокопродуктивных коров является одной из причин снижения фертильности и приводит к экономическим потерям в молочном скотоводстве [19, с. 2028]. В исследовании, проведённом в ТОО «Олжа Агро», установлено, что нарушения кормового рациона, обмена веществ и минерального состава отрицательно влияют на фертильность и репродуктивное здоровье коров; при этом у 95% животных количество соматических клеток свидетельствовало об отсутствии мастита [20, с. 29]. В статье Mukhamadieva N. и соавторов показано, что сочетание мастита с патологией матки оказывает более выраженное отрицательное влияние на показатели фертильности, чем заболевание молочной железы без сопутствующих нарушений репродуктивной системы [21, с. 292]. Результаты метаанализа подтверждают, что мастит и повышение уровня соматических клеток приводят к ухудшению воспроизводительных показателей, включая увеличение сервис-периода, числа осеменений и снижение вероятности наступления беременности [22, с. 8454]. Таким образом, анализ литературных данных показывает, что уровень соматических клеток является важным интегральным показателем, отражающим состояние здоровья и воспроизводительную способность коров. Его повышение оказывает комплексное отрицательное влияние на молочную продуктивность, репродуктивные показатели и экономическую эффективность молочного производства, что определяет актуальность дальнейших исследований в данном направлении [23, с. 10]. В целом, анализ зарубежной литературы и литературы стран СНГ свидетельствует, что отрицательное влияние повышенного содержания соматических клеток в молоке на репродуктивную функцию казахстанскими учеными изучено недостаточно. Следует отметить, что контроль уровня соматических клеток в молоке является доступным критерием оценки функционального состояния молочной железы и воспроизводительной функции коров и на практике не в полной мере используется указанный метод диагностики.

Цель исследования – оценить содержание соматических клеток в молоке коров голштинской породы, определить распространённость повышенного содержания SCC в стаде, выявить возрастные особенности данного показателя и установить его связь с воспроизводительной функцией животных.

Задачи исследования: изучение отрицательного влияния повышенного содержания соматических клеток в молоке коров на их воспроизводительную функцию, определение фертильности коров с разным уровнем соматических клеток в молоке.

Материалы и методы исследования. Исследование проводилось на базе молочного комплекса ТОО «Байсерке-Агро», расположенного в Талгарском районе Алматинской области. Объектом исследования являлись 515 коров голштинской породы молочного направления продуктивности. Материалом для исследования служили индивидуальные данные контрольной дойки, зарегистрированные 20.11.2025 г., а также данные зоотехнического и ветеринарного учёта. По каждому животному учитывали идентификационный номер, регистрационный и инвентарный номера, дату рождения, возраст в месяцах, дату контрольного удоя, величину удоя и содержание соматических клеток в молоке. Возраст животных на момент исследования варьировался от 23 до 80 месяцев. Использование животных одной породной группы позволило минимизировать влияние породного фактора. Содержание соматических клеток в молоке определяли с использованием анализатора Fossomatic FC. Метод основан на принципе проточной цитометрии и предусматривает автоматический подсчёт соматических клеток после обработки образца флуоресцентным красителем. Результаты выражали в тыс. клеток/мл молока. Содержание соматических клеток использовали как показатель состояния молочной железы и качества молока [1, с. 562]. Для оценки состояния молочной железы и репродуктивной функции животных рас-

пределяли по уровню SCC: до 50; 51–150; 151–300; 301–450; 451–700; 701–850; 851–1000; 1001–2000 и 2001–4000 тыс. клеток/мл. В качестве дополнительного критерия оценки оплодотворяющей способности коров использовали показатель – индекс осеменения коров. В качестве порогового значения использовали уровень 150 тыс. клеток/мл, который применяется в исследованиях для разграничения животных по уровню риска повышения SCC [2, с. 6253]. Содержание SCC до 150 тыс. клеток/мл рассматривали как физиологически допустимое, а превышение данного уровня – как показатель повышенного риска субклинических воспалительных процессов молочной железы. Для анализа возрастных особенностей коров распределяли на группы: 23–26, 27–48, 49–60, 61–72 и 73 месяца и старше. В каждой возрастной группе определяли численность животных с различным уровнем SCC и их долю в общей выборке. Воспроизводительную функцию оценивали по данным журнала учёта отёлов. В качестве основных показателей использовали межотельный интервал и сервис-период, которые широко применяются при оценке фертильности молочных коров [5, с. 433]. Межотельный интервал определяли как количество дней между последовательными отёлами; расчёт проводили у животных, имевших два и более последовательных отёла в журнале учёта. Сервис-период рассматривали как период от отёла до плодотворного осеменения. Для оценки связи SCC с воспроизводительной функцией животных дополнительно группировали по трём категориям: до 150 тыс./мл, 151–1000 тыс./мл и свыше 1000 тыс./мл. Статистическая обработка данных включала расчёт абсолютных и относительных показателей, определение доли животных в каждой группе, сравнительный анализ по возрастным категориям и уровням SCC. Корреляционную связь между возрастом животных и содержанием соматических клеток оценивали по индивидуальным данным учёта. Связь SCC с воспроизводительными показателями анализировали путём сравнения межотельного интервала и сервис-периода в группах с различным уровнем соматических клеток.

Результаты и их обсуждение. По результатам контрольной дойки, проведённой 20.11.2025 г., были проанализированы показатели молочной продуктивности и содержания соматических клеток у 515 коров голштинской породы. Установлено, что содержание соматических клеток в молоке имело значительную вариабельность, что указывает на неоднородное состояние молочной железы у животных исследуемого стада. Распределение коров по уровню соматических клеток и показатели индекса осеменения представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение исследуемых коров по уровню количества соматических клеток (n=515)

Количество SCC в 1,0 мл молока, тыс./мл	Количество коров	Доля, %	Индекс осеменения
до 50	54	10,5	1,3
51–150	113	22,0	1,6
151–300	66	12,8	2,1
301–450	64	12,4	2,7
451–700	50	9,7	2,7
701–850	34	6,6	3,3
851–1000	12	2,3	3,4
1001–2000	75	14,6	3,8
2001–4000	47	9,1	4,1
Итого	515	100	

Анализ полученных данных показал, что физиологически допустимый уровень соматических клеток, не превышающий 150 тыс. клеток/мл, был установлен у 167 коров, что составляет 32,5% от общего поголовья. Повышенное содержание соматических клеток, превышающее 150 тыс. клеток/мл, выявлено у 348 животных, или 67,6% стада. Наибольшая доля животных приходилась на группу с уровнем SCC 51–150 тыс. клеток/мл – 22,0%. При этом у 122 коров, или 23,7% исследуемого поголовья, содержание соматических клеток превышало 1000 тыс. клеток/мл. Такие значения могут указывать на высокий риск субклинических воспалительных процессов в молочной железе и требуют усиления ветеринарного контроля. Следует отметить, что повышение содержания соматических клеток в молоке является важным индикатором состояния молочной железы. Увеличение SCC может быть связано с воспалительными процессами, снижением санитарного качества молока и ухудшением общего физиологического состояния животных. Нами был проведен анализ оплодотворяющей способности коров с разным уровнем содержания SCC в молоке, у коров с минимальным количеством SCC в молоке (до 50 тыс клеток, 51-150 тыс клеток в 1 мл молока) индекс осеменения был высоким и составил 1,3 и 1,6.У животных с содержанием соматичесмких клетов от 151 тыс до 700 тыс клеток индекс осеменения колебался от 2,1 до 2,7. Результаты исследования свидетельствуют, что увеличение количества соматических клеток в молоке коров сопровождается снижением фертильности. Известно, что по данным большинства ученых увеличение количества соматических клеток приводит к снижению оплодотворяющей способности коров, отрицательно влияет на фертильность, однако нет единого мнения отно-

сительно минимально допустимого количества соматических клеток в 1,0 мл молока. В свою очередь, повышенное содержание SCC в молоке может косвенно отражаться на воспроизводительной функции коров за счёт нарушения обменных и гормональных процессов. Для оценки возрастных особенностей изучаемого показателя было проведено распределение коров по возрастным группам и уровню содержания соматических клеток. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение коров по возрасту и уровню соматических клеток

Уровень SCC, тыс./мл	Возраст животных					
	23-26 месяцев	27-48 месяцев	49-60 месяцев	61-72 месяцев	Более 73 месяцев	Итого
До 50	1	23	7	20	3	54
От 51 до 150 тыс	0	34	31	37	11	113
От 151 до 300 тыс	0	20	17	25	4	66
От 301 до 450 тыс	0	21	17	22	4	64
От 451 до 700 тыс	0	13	5	26	6	50
От 701 до 850 тыс	0	9	4	12	9	34
От 851 до 1000 тыс	0	2	4	6	0	12
От 1001 до 2000 тыс	0	11	19	33	12	75
От 2001 до 4000 тыс	0	6	12	24	5	47

Анализ возрастной структуры показал, что с увеличением возраста животных возрастает доля коров с высоким содержанием соматических клеток. В группе 27–48 месяцев доля животных с уровнем SCC свыше 1000 тыс. клеток/мл составила 12,2%, тогда как среди коров старше 73 месяцев данный показатель достиг 31,5%. Таким образом, с возрастом доля животных с высоким уровнем соматических клеток увеличилась в 2,6 раза. Наиболее многочисленной возрастной группой являлись коровы в возрасте 61–72 месяцев – 205 голов. В этой группе также отмечено значительное количество животных с повышенным содержанием соматических клеток: 91 корова имела уровень SCC в пределах 151–1000 тыс. клеток/мл, а у 57 коров показатель превышал 1000 тыс. клеток/мл. Выявленная тенденция может быть связана с возрастным снижением резистентности организма, накоплением случаев перенесённых воспалительных процессов молочной железы, а также увеличением числа лактаций. Корреляционный анализ между возрастом животных и уровнем соматических клеток показал наличие умеренной положительной связи – $r \approx 0,42$, что указывает на тенденцию к увеличению SCC с возрастом. Полученные нами данные согласуются с литературными данными, где наблюдается повышение уровня соматических клеток у высокопродуктивных коров и у коров с большим количеством лактации [3, с. 343, 6, с.1285]. Анализ воспроизводительных показателей на основании данных журнала учёта отёлов показал, что в исследуемом массиве преобладали физиологически нормальные роды. По животным, вошедшим в анализ контрольной дойки, было выявлено 1163 записи отёлов. Самостоятельные отёлы были зарегистрированы в 1040 случаях. Лёгкое родовспоможение отмечено в 8 случаях, тяжёлый отёл с применением родовспомогательного инструмента – в 5 случаях; в остальных записях сведения о лёгкости отёла отсутствовали или не были указаны. Для оценки воспроизводительной функции по журналу учёта отёлов был рассчитан межотельный интервал у коров, имевших два и более последовательных отёла. Всего в анализ межотельного периода включено 705 интервалов. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение коров по продолжительности межотельного интервала и влияние уровня соматических клеток на продолжительность межотельного периода

Межотельный интервал, дней	Количество случаев	Доля, %	Число коров и SCC, тыс./мл
До 400	297	42,1	187 голов/ до 150 тыс./мл
401–520	244	34,6	195 голов/ от 151 до 300 тыс./мл
521–700	117	16,6	58 голов/ от 301 до 700 тыс./мл
Более 700	47	6,7	38 голов/ от 701 тыс./мл и более
Итого	705	100,0	

Анализ показал, что средняя продолжительность межотельного интервала составила 461,8 дня, медиана – 419 дней. Минимальное значение составило 289 дней, максимальное – 1318 дней. У 297 случаев, или 42,1%, межотельный интервал находился в пределах до 400 дней, что близко к физиологически оптимальному уровню. При этом у 164 случаев, или 23,3%, межотельный интервал превышал 520 дней, что указывает на удлинение воспроизводительного цикла у части животных. Удлинение межотельного интервала может быть связано с увеличением сервис-периода, снижением результативности осеменений и нарушением восстановления репродуктивной функции после отёла. Анализ

данных таблицы 3 показывают теоретически ожидаемые результаты, так как в группе коров с минимальным межотельным интервалом (до 400 дней) преобладают особи (167 голов) с уровнем соматических клеток менее 150 тыс./мл молока. У исследуемых коров отмечается тенденция, что удлинение межотельного интервала сопровождается с увеличением у коров в молоке соматических клеток, особенно в группе коров с продолжительностью межотельного периода более 521-700 дней. При этом высокий уровень SCC следует рассматривать не как единственную причину ухудшения воспроизводительных показателей, а как один из факторов, ассоциированных с неблагоприятным физиологическим состоянием животных. Для оценки связи между уровнем соматических клеток и воспроизводительными показателями было проведено сравнительное распределение животных по категориям SCC. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Обобщённая характеристика воспроизводительных показателей в зависимости от уровня SCC

SCC (тыс./мл)	Межотельный интервал, дней	Сервис-период, дней	Воспроизводство
≤150	380–420	95–135	В пределах физиологической нормы
151–1000	420–520	135–235	Умеренное ухудшение
>1000	500 – 700 и более	215 – 400 и более	Выраженное ухудшение

Сравнительная оценка показала тенденцию к ухудшению воспроизводительных параметров при повышении SCC. У коров с уровнем SCC до 150 тыс. клеток/мл межотельный интервал составлял 380–420 дней, а сервис-период – 95 – 135 дней. При повышении SCC до 151–1000 тыс. клеток/мл данные показатели увеличивались соответственно до 420–520 и 135–235 дней. Наиболее выраженное ухудшение воспроизводительной функции отмечалось у животных с содержанием соматических клеток свыше 1000 тыс. клеток/мл. В этой группе межотельный интервал составлял 500–700 дней и более, а сервис-период достигал 215–400 дней и более. Это указывает на снижение оплодотворяемости и удлинение периода восстановления репродуктивной функции после отёла. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о наличии связи между повышенным содержанием соматических клеток в молоке и ухудшением воспроизводительных показателей коров. Повышение SCC ассоциировалось с увеличением межотельного интервала и сервис-периода. Наиболее неблагоприятные показатели воспроизводства отмечались у животных с уровнем соматических клеток свыше 1000 тыс. клеток/мл.

В целом результаты исследования показывают, что в стаде ТОО «Байсерке-Агро» значительная часть коров характеризуется повышенным содержанием соматических клеток. Данный показатель возрастает с увеличением возраста животных и может быть связан с ухудшением воспроизводительной способности. Полученные данные подтверждают необходимость регулярного мониторинга SCC, своевременной диагностики субклинического мастита и проведения профилактических мероприятий, направленных на сохранение здоровья молочной железы и повышение эффективности воспроизводства стада. Следует отметить, что выявленная связь между SCC и воспроизводительными показателями носит ассоциативный характер и не позволяет рассматривать повышенное содержание соматических клеток как единственную причину ухудшения воспроизводства. Вероятно, SCC отражает общее физиологическое состояние животных, включая состояние молочной железы, обмен веществ и уровень воспалительной нагрузки. Таким образом, в представленной работе проведена оценка влияния количества соматических клеток в молоке на репродуктивную функцию коров, изучена корреляционная связь уровня соматических клеток с индексом осеменения, с возрастом животных, с продолжительностью межотельного интервала.

Заключение. В результате анализа данных контрольной дойки 515 коров голштинской породы установлено, что физиологически допустимый уровень соматических клеток в молоке – до 150 тыс. содержание соматических клеток – более 150 тыс. клеток/мл – выявлено у 348 коров, или 67,6% исследуемого стада. Это указывает на широкое распространение нарушений состояния молочной железы и необходимость усиления ветеринарно-профилактических мероприятий. У 122 коров, или 23,7% поголовья, содержание соматических клеток превышало 1000 тыс. клеток/мл. Такие значения могут свидетельствовать о высоком риске субклинических или клинических форм мастита, нарушения репродуктивной функции и требуют регулярного мониторинга здоровья животных. Установлена возрастная зависимость содержания соматических клеток: с увеличением возраста животных доля коров с высоким уровнем SCC возрастала. В группе 27–48 месяцев доля коров с SCC свыше 1000 тыс. клеток/мл составляла 12,2%, тогда как среди животных старше 73 месяцев данный показатель достигал 31,5%. Корреляционный анализ показал умеренную положительную связь между возрастом коров и содержанием соматических клеток в молоке – $r \approx 0,42$, что подтверждает тенденцию к увеличению SCC с возрастом животных. По данным журнала учёта отёлов было рассчитано 705 межотельных интервалов. Средняя продолжительность межотельного интервала составила 461,8 дня, медиана – 419 дней. У 164 случаев, или 23,3%, межотельный интервал превышал 520 дней, что свидетельствует об удлинении

воспроизводительного цикла у части животных. Повышение содержания соматических клеток ассоциировалось с ухудшением воспроизводительных показателей. У коров с SCC свыше 1000 тыс. клеток/мл отмечалось увеличение межотельного интервала до 500–700 дней и более, а сервис-периода до 215–400 дней и более. Полученные результаты показывают, что содержание соматических клеток является важным показателем не только состояния молочной железы, но и физиологического состояния органов воспроизводства коров. Регулярный контроль SCC позволяет своевременно выявлять животных группы риска, проводить профилактику мастита и повышать эффективность воспроизводства стада. На оснований полученных результатов считаем необходимым проведение мониторинга уровня соматических клеток для молочных ферм и оценки состояния молочной железы и репродуктивных органов коров.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Alhussien M.N., Dang A.K. Milk somatic cells, factors influencing their release, future prospects, and practical utility in dairy animals: An overview** [Text] / M.N. Alhussien, A.K. Dang // Veterinary World. – 2018. – Vol. 11. – Issue 5. – P. 562–577. https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.562-577.

2. **Rearte R., Corva G., de la Sota R.L., Lacau-Mengido I.M., Giuliodori M.J. Associations of somatic cell count with milk yield and reproductive performance in grazing dairy cows** [Text] / R. Rearte, G. Corva, R.L. de la Sota, I.M. Lacau-Mengido, M.J. Giuliodori // Journal of Dairy Science. – 2022. – Vol. 105. – Issue 7. – P. 6251–6260. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21504.

3. **Barbosa B.L., Pedrosa V.B., Karolewski L.S.L., Godoi C.C., Martins A.S. Impact of parity number, milk production and somatic cell count on the reproduction of Holstein cows** [Text] / B.L. Barbosa, V.B. Pedrosa, L.S.L. Karolewski, C.C. Godoi, A.S. Martins // Journal of Dairy Research. – 2023. – Vol. 90. – Issue 4. – P. 343–346. https://doi.org/10.1017/S002202992300078X.

4. **Komlyk I., Grishina N. The interrelation of the level of somatic cells in milk at the end of lactation with fertility and milk yield of Ayrshire cows in the conditions of the European North of Russia** [Text] / I. Komlyk, N. Grishina // BIO Web of Conferences. – 2025. – Vol. 181. – Article 01022. https://doi.org/10.1051/bioconf/202518101022.

5. **Siatka K., Sawa A., Bogucki M., Piwczyński D., Krężel-Czopek S. The relationships between the somatic cell counts in the milk and the fertility of Polish Holstein-Friesian cows** [Text] / K. Siatka, A. Sawa, M. Bogucki, D. Piwczyński, S. Krężel-Czopek // Veterinarni Medicina. – 2019. – Vol. 64. – Issue 10. – P. 433–439. https://doi.org/10.17221/34/2019-VETMED.

6. **Ermetin O., Okuyucu I.C., Kul E. Effect of somatic cell count on fertility and milk yield traits during different lactation periods in Holstein cows** [Text] / O. Ermetin, I.C. Okuyucu, E. Kul // Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology. – 2025. – Vol. 13. – Issue 5. – P. 1285–1291. https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i5.1285-1291.7633.

7. **Jose A., Pérez-Méndez J.A., David R., Wall A. Somatic cell counts, reproduction indicators, and technical efficiency in milk production: A stochastic frontier analysis for Spanish dairy farms** [Text] / A. Jose, J.A. Pérez-Méndez, R. David, A. Wall // Journal of Dairy Science. – 2020. – Vol. 103. – P. 7141–7154. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17146.

8. **Naoki I., Chihiro I., Hirokazu K., Yukinori Y. Relationship between the somatic cell count in milk and reproductive function in peripartum dairy cows** [Text] / N. Isobe, C. Iwamoto, H. Kubota, Y. Yoshimura // Journal of Reproduction and Development. – 2014. – Vol. 60. – Issue 6. – P. 433–437. https://doi.org/10.1262/jrd.2014-065.

9. **Pereira de Moraes F., Amaral D'Avila C., Caetano de Oliveira F., Ávila de Castro N., Diniz Vieira A. et al. Prostaglandin F2α regulation and function during ovulation and luteinization in cows** [Text] / F. Pereira de Moraes, C. Amaral D'Avila, F. Caetano de Oliveira, N. Ávila de Castro, A. Diniz Vieira et al. // Theriogenology. – 2021. – Vol. 171. – P. 30–37. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.05.008.

10. **Stevenson J.S., Lamb G.C. Contrasting effects of progesterone on fertility of dairy and beef cows** [Text] / J.S. Stevenson, G.C. Lamb // Journal of Dairy Science. – 2016. – Vol. 99. – Issue 7. – P. 5951–5964. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10130.

11. **Albaaj A., Foucras G., Raboisson D. High somatic cell counts and changes in milk fat and protein contents around insemination are negatively associated with conception in dairy cows** [Text] / A. Albaaj, G. Foucras, D. Raboisson // Theriogenology. – 2017. – Vol. 88. – P. 18–27. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.09.043.

12. **Lipkens Z., Piepers S., Verbeke J., De Vliegher S. Infection dynamics across the dry period using Dairy Herd Improvement somatic cell count data and its effect on cow performance in the subsequent lactation** [Text] / Z. Lipkens, S. Piepers, J. Verbeke, S. De Vliegher // Journal of Dairy Science. – 2019. – Vol. 102. – Issue 1. – P. 640–651. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15130.

13. **Ibrahim N., Regassa F., Yilma T., Tolosa T. Impact of subclinical mastitis on uterine health, reproductive performances and hormonal profile of Zebu × Friesian crossbred dairy cows in and around Jimma town dairy farms, Ethiopia** [Text] / N. Ibrahim, F. Regassa, T. Yilma, T. Tolosa // Heliyon. – 2023. – Vol. 9. – Issue 6. – Article e16793. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16793.

14. **Fernandes L., Guimaraes I., Noyes N.R., Caixeta L.S., Machado V.S. Effect of subclinical mastitis detected in the first month of lactation on somatic cell count linear scores, milk yield, fertility, and culling of dairy cows in certified organic herds** [Text] / L. Fernandes, I. Guimaraes, N.R. Noyes, L.S. Caixeta, V.S. Machado // Journal of Dairy Science. – 2021. – Vol. 104. – Issue 2. – P. 2140–2150. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19153.

15. **Sadeghi H., Gharagozlou F., Vojgani M., Mobedi E., Bafandeh M., Akbarinejad V. Evidence that elevation of maternal somatic cell count could lead to production of offspring with inferior reproductive and productive performance in dairy cows during the first lactation period** [Text] / H. Sadeghi, F. Gharagozlou, M. Vojgani, E. Mobedi, M. Bafandeh, V. Akbarinejad // Theriogenology. – 2023. – Vol. 200. – P. 79–85. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.02.002.

16. **Barbosa L.F.S.P., Oliveira W.V.C., Pereira M.H.C., Moreira M.B., Vasconcelos C.G.C. et al. Somatic cell count and type of intramammary infection impacts fertility from in vitro produced embryo transfer** [Text] / L.F.S.P. Barbosa, W.V.C. Oliveira, M.H.C. Pereira, M.B. Moreira, C.G.C. Vasconcelos et al. // Theriogenology. – 2018. – Vol. 108. – P. 291–296. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.12.025.

17. **Villa-Arcila N.A., Sanchez J., Ratto M.H., Rodriguez-Lecompte J.C., Duque-Madrid P.C., Sanchez-Arias S., Ceballos-Marquez A. The association between subclinical mastitis around calving and reproductive performance in grazing dairy cows** [Text] / N.A. Villa-Arcila, J. Sanchez, M.H. Ratto, J.C. Rodriguez-Lecompte, P.C. Duque-Madrid, S. Sanchez-Arias, A. Ceballos-Marquez // Animal Reproduction Science. – 2017. – Vol. 185. – P. 109–117. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.08.010.

18. **Усенбеков Е., Муслимова Ж.У., Хусаинов Д.М., Нусупова С.Т., Омарбекова У.Ж., Орынханов К.А., Кузербаева А.Т. Практическое значение определения SCC и остаточного количества антибиотиков в молоке и детекция патогенной микрофлоры методом ПЦР при маститах у коров** [Текст] / Е. Усенбеков, Ж.У. Муслимова, Д.М. Хусаинов, С.Т. Нусупова, У.Ж. Омарбекова, К.А. Орынханов, А.Т. Кузербаева // Ғылым және білім. – 2024. – Т. 1. – Вып. 4 (77). – С. 123–137. https://doi.org/10.52578/2305-9397-2024-4-1-123-137.

19. **Jakupov I., Wehrend A., Abultdinova A., Mamytbekova G., Zharkimbaeva Z., Zabrodin A. Development of a rapid test to determine endometritis of cows after calving** [Text] / I. Jakupov, A. Wehrend, A. Abultdinova, G. Mamytbekova, Z. Zharkimbaeva, A. Zabrodin // Veterinary World. – 2024. – Vol. 17. – Issue 9. – P. 2028–2035. https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2028-2035.

20. **Тегза А.А., Тегза И.М., Жилайтис В., Ахметчина Т.А. Роль алиментарного фактора в фертильности молочных коров** [Текст] / А.А. Тегза, И.М. Тегза, В. Жилайтис, Т.А. Ахметчина // 3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация. – 2024. – № 2. – С. 28–37.

21. **Mukhamadieva N., Zainettinova D., Julanov M., Stefanik V., Nurzhumanova Z. et al. Study of mastitis incidence in cows of dairy farms in East Kazakhstan: Impacts of nutrition, endometritis and mycotoxin contamination** [Text] / N. Mukhamadieva, D. Zainettinova, M. Julanov, V. Stefanik, Z. Nurzhumanova et al. // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. – 2023. – Vol. 18. – Issue 4. – P. 292–303. https://doi.org/10.3844/ajavsp.2023.292.303.

22. **Dolecheck K.A., García-Guerra A., Moraes L.E. Quantifying the effects of mastitis on the reproductive performance of dairy cows: A meta-analysis** [Text] / K.A. Dolecheck, A. García-Guerra, L.E. Moraes // Journal of Dairy Science. – 2019. – Vol. 102. – Issue 9. – P. 8454–8477. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15127.

23. **Borş A., Borş S.I., Floriștean V.C. Mastitis impact on high-yielding dairy farm's reproduction and net present value** [Text] / A. Borş, S.I. Borş, V.C. Floriștean // Frontiers in Veterinary Science. – 2024. – Vol. 10. – Article 1345782. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1345782.

REFERENCES:

1. **Alhussien M.N., Dang A.K. Milk somatic cells, factors influencing their release, future prospects, and practical utility in dairy animals: An overview.** *Veterinary World*, 2018, vol. 11, iss. 5, pp. 562–577. https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.562-577.

2. **Rearte R., Corva G., de la Sota R.L., Lacau-Mengido I.M., Giuliodori M.J. Associations of somatic cell count with milk yield and reproductive performance in grazing dairy cows.** *Journal of Dairy Science.,* 2022, vol. 105, iss. 7, pp. 6251–6260. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21504.

3. **Barbosa B.L., Pedrosa V.B., Karolewski L.S.L., Godoi C.C., Martins A.S. Impact of parity number, milk production and somatic cell count on the reproduction of Holstein cows.** *Journal of Dairy*, 2023, vol. 90, iss. 4, pp. 343–346. https://doi.org/10.1017/S002202992300078X.

4. **Komlyk I., Grishina N. The interrelation of the level of somatic cells in milk at the end of lactation with fertility and milk yield of Ayrshire cows in the conditions of the European North of Russia**. *BIO Web of Conferences*., 2025, vol. 181, art. 01022. https://doi.org/10.1051/bioconf/202518101022. (In Russian)

5. **Siatka K., Sawa A., Bogucki M., Piwczyński D., Krężel-Czopek S. The relationships between the somatic cell counts in the milk and the fertility of Polish Holstein-Friesian cows.** *Journal Veterinarni Medicina,* 2019, vol. 64, iss. 10, pp. 433–439. https://doi.org/10.17221/34/2019-VETMED.

6. **Ermetin O., Okuyucu I.C., Kul E. Effect of somatic cell count on fertility and milk yield traits during different lactation periods in Holstein cows**. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology,* 2025, vol. 13, iss. 5, pp. 1285–1291. https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i5.1285-1291.7633.

7. **Jose A., Pérez-Méndez J.A., David R., Wall A. Somatic cell counts, reproduction indicators, and technical efficiency in milk production: A stochastic frontier analysis for Spanish dairy farms**. *Journal of Dairy Science*, 2020, vol. 103, pp. 7141–7154. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17146.

8. **Naoki I., Chihiro I., Hirokazu K., Yukinori Y. Relationship between the somatic cell count in milk and reproductive function in peripartum dairy cows.** *Journal of Reproduction and Development*. , 2014, vol. 60, iss. 6, pp. 433–437. https://doi.org/10.1262/jrd.2014-065.

9. **Pereira de Moraes F., Amaral D'Avila C., Caetano de Oliveira F., Ávila de Castro N., Diniz Vieira A. et al. Prostaglandin F2α regulation and function during ovulation and luteinization in cows.** *Theriogenology*, 2021, vol. 171, pp. 30–37. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.05.008.

10. **Stevenson J.S., Lamb G.C. Contrasting effects of progesterone on fertility of dairy and beef cows**. *Journal of Dairy Science.*, 2016, vol. 99, iss. 7, pp. 5951–5964. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10130.

11. **Albaaj A., Foucras G., Raboisson D. High somatic cell counts and changes in milk fat and protein contents around insemination are negatively associated with conception in dairy cows.** *Theriogenology*, 2017, vol. 88, pp. 18–27. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.09.043.

12. **Lipkens Z., Piepers S., Verbeke J., De Vliegher S. Infection dynamics across the dry period using Dairy Herd Improvement somatic cell count data and its effect on cow performance in the subsequent lactation**. *Journal of Dairy Science,* 2019, vol. 102, iss. 1, pp. 640–651. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15130.

13. **Ibrahim N., Regassa F., Yilma T., Tolosa T. Impact of subclinical mastitis on uterine health, reproductive performances and hormonal profile of Zebu × Friesian crossbred dairy cows in and around Jimma town dairy farms, Ethiopia**. *Heliyon.*, 2023, vol. 9, iss. 6, art. e16793. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16793.

14. **Fernandes L., Guimaraes I., Noyes N.R., Caixeta L.S., Machado V.S. Effect of subclinical mastitis detected in the first month of lactation on somatic cell count linear scores, milk yield, fertility, and culling of dairy cows in certified organic herds**. *Journal of Dairy Science.*, 2021, vol. 104, iss. 2, pp. 2140–2150. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19153.

15. **Sadeghi H., Gharagozlou F., Vojgani M., et al. Evidence that elevation of maternal somatic cell count could lead to production of offspring with inferior reproductive and productive performance in dairy cows during the first lactation period.** *Theriogenology,* 2023, vol. 200, pp. 79–85. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.02.002.

16. **Barbosa L.F.S.P., Oliveira W.V.C., Pereira M.H.C., Moreira M.B., Vasconcelos C.G.C. et al. Somatic cell count and type of intramammary infection impacts fertility from in vitro produced embryo transfer.** *Theriogenology,* 2018, vol. 108, pp. 291–296. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.12.025.

17. **Villa-Arcila N.A., Sanchez J., Ratto M.H., Rodriguez-Lecompte J.C., Duque-Madrid P.C., Sanchez-Arias S., Ceballos-Marquez A. The association between subclinical mastitis around calving and reproductive performance in grazing dairy cows.** *Animal Reproduction Science,* 2017, vol. 185 pp.109–117. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.08.010.

18. **Ussenbekov E., Muslimova Zh.U., Husainov D.M., et al. Prakticheskoe znachenie opredeleniya SCC i ostatochnogo kolichestva antibiotikov v moloke i detekciya patogennoj mikroflory' metodom PCR pri mastitakh u korov** [Practical significance of determining Somatic Cell Count (SCC) and antibiotic residues in milk and PCR-based detection of pathogenic microflora in cows with mastitis]. *Gylym zhane bilim,* 2024, vol. 1, iss. 4 (77), pp. 123–137. https://doi.org/10.52578/2305-9397-2024-4-1-123-137. (In Russian)

19. **Jakupov I., Wehrend A., Abultdinova A., Mamytbekova G., Zharkimbaeva Z., Zabrodin A. Development of a rapid test to determine endometritis of cows after calving.** *Veterinary World*, 2024, vol. 17, iss. 9, pp. 2028–2035. https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2028-2035.

20. **Tegza A.A., Tegza I.M., Zhilaitis V., Akhmetchina T.A. Rol' alimentarnogo faktora v fertil'nosti molochny'h korov** [The role of the alimentary factor in the fertility of dairy cows]. *3i: intellect, idea, innovation*, 2024, no. 2, pp. 28–37. (In Russian)

21. **Mukhamadieva N., Zainettinova D., Julanov M., Stefanik V., Nurzhumanova Z. et al. Study of mastitis incidence in cows of dairy farms in East Kazakhstan: Impacts of nutrition, endometritis and mycotoxin contamination**. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences,* 2023, vol. 18, iss. 4, pp. 292–303. https://doi.org/10.3844/ajavsp.2023.292.303.

22. **Dolecheck K.A., García-Guerra A., Moraes L.E. Quantifying the effects of mastitis on the reproductive performance of dairy cows: A meta-analysis**. *Journal of Dairy Science,* 2019, vol. 102, iss. 9, pp. 8454–8477. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15127.

23. **Borş A., Borş S.I., Floriștean V.C. Mastitis impact on high-yielding dairy farm's reproduction and net present value.** *Frontiers in Veterinary Science,* 2024, vol. 10, art. 1345782. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1345782.

Дата поступления: 10 мая 2026 г. **Принято:** 25 июня 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Нурпеисова Раушан Кадирбаевна – магистр ветеринарных наук, докторант кафедры клинических дисциплин, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050038, г. Алматы, микрорайон Зердели, дом-1/171, кв-4, тел.: 87007766250; e-mail: raua0504@icloud.com.*

Қанатов Бегали Канатович – кандидат ветеринарных наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт ветеринарии», Республика Казахстан, 050038, г. Алматы, микрорайон Зердели, д.9/1, кв.1. тел.: 87472357334, e-mail: kanat_bek59@mail.ru.

Ниязбекова Жаннур Нурдилдаевна – PhD доктор, старший преподаватель кафедры биологической безопасности, НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет», Республика Казахстан, 050038, г. Алматы, микрорайон Зердели, дом-1/171, кв-4., тел.: 87477291290; e-mail: zhannur.niyazbekova@gmail.com.

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.: 77059160272; e-mail: yessengali.ussenbekov@kaznaru.edu.kz.

Нурпеисова Раушан Кадирбаевна – ветеринария ғылымдарының магистрі, «Клиникалық пәндер» кафедрасының докторанты, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 050038, Алматы қ., Зерделі ықшам ауд., 1/171 – үй, 4 – пәтер, тел.: 87007766250; e-mail: raua0504@icloud.com.*

Қанатов Бегали Канатович – ветеринария ғылымдарының кандидаты, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринария институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Зерделі ықшам ауд., 9/1 – үй, 1 – пәтер, тел.: 87472357334, e-mail: kanat_bek@mail.ru.

Ниязбекова Жаннұр Нұрділдақызы – PhD доктор, «Биологиялық қауіпсіздік» кафедрасының аға оқытушысы, «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Зерделі ықшам ауд., 1/171 – үй, 4 – пәтер, тел.: 87477291290, e-mail: zhannur.niyazbekova@ gmail.com.

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

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

Kanatov Begali Kanatovich – Candidate of Veterinary Sciences, Kazakh Research Veterinary Institute LLP, Republic of Kazakhstan, Almaty, Zerdeli microdistrict, bld. 9/1, apt. 1, tel.: 87472357334, e-mail: kanat_bek59@mail.ru.

Niyazbekova Zhannur Nurdildayevna – PhD, Senior Lecturer, Department of biological safety, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Republic of Kazakhstan, Almaty, Zerdeli microdistrict, bld. 1/171, apt. 4, tel.: 87477291290; e-mail: zhannur.niyazbekova@gmail.com.

Ussenbekov Yessengali Serikovich – Candidate of Biological Sciences, Professor, Department of clinical disciplines, Kazakh National Agrarian Research University NJSC, Republic of Kazakhstan, 050006, Almaty, Kalkaman 2 microdistrict, 21 Abilov Str., tel.: 87059160272; e-mail: yessengali.ussenbekov@kaznaru.edu.kz.

ХҒТАР 68.41.65.33.15
ӘОЖ 616-07:619.:161.9
https://doi.org/10.52269/SEPT2631078

ТУБЕРКУЛИННІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ ЖӘНЕ ЖАҢА БУЫН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ДИАГНОСТИКА БАҒЫТТАРЫ

Озатбекұлы А. – 1 курс докторанты, ветеринария ғылымдарының магистрі, кіші ғылыми қызметкер, "БиоВет" Ғылыми өндірістік орталығы ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.*

Тургенбаев К.А. – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, бас ғылыми қызметкер, "БиоВет" ғылыми өндірістік орталығы ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Борсынбаева А.М. – PhD, аға ғылыми қызметкер, "БиоВет" ғылыми өндірістік орталығы ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Микниене З. – PhD докторы, доцент, Литва денсаулық ғылымдары университеті, Литва.

Мақалада жануарлар туберкулезін аллергиялық диагностикалауда қолданылатын туберкулин препараттарының биологиялық тұрақтылығын арттыру мәселесі және болашақта дифферен-

циалды диагностиканы жетілдіру бағыттары қарастырылды. Зерттеудің негізгі бағыты ретінде формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, дәстүрлі ППД туберкулиндермен салыстырылды. Алдыңғы зерттеулерде Mycobacterium bovis культураларынан алынған туберкулиннің физика-химиялық, биологиялық және аллергендік қасиеттері бағаланып, 0,1–10% аралығындағы тұрақтандырғыш концентрациялары салыстырылғаны көрсетілген. 3% деңгейі биологиялық белсенділік, тұрақтылық және жергілікті тітіркендіргіш әсердің болмауы бойынша оңтайлы нұсқа ретінде сипатталған (veterinaryworld.org).

Қарағанды облысындағы шаруашылықтарда жүргізілген өндірістік-клиникалық сынақтар барысында формалинмен тұрақтандырылған туберкулин сүтқоректілерге арналған стандартты ППД-туберкулин 1 (Курск биофабрикасы, Ресей Федерациясы) және сүтқоректілерге арналған ППД-туберкулин 2 (Қазақстан Республикасы) препараттарымен салыстырмалы түрде бағаланды. Сау мал табындарында екі препарат бойынша да жалған оң реакциялардың тіркелмеуі олардың спецификалық қауіпсіздігін көрсетті. Сонымен қатар туберкулез бойынша қолайсыз табындарда жаңа препараттың реакция қарқындылығы жоғары болып, ауру малдарды анықтау мүмкіндігі артқаны байқалды. Болашақ ғылыми бағыт ретінде RD1 аймағының ESAT-6 және CFP-10 антигендеріне негізделген жаңа буын дифференциалды диагностика әдістерін әзірлеу ұсынылады.

Түйінді сөздер: *туберкулин, жануарлар туберкулезі, биологиялық тұрақтылық, фенол қосылған ППД туберкулин, RD1 антигендері, ESAT-6, CFP-10, дифференциалды диагностика.*

ПОВЫШЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ТУБЕРКУЛИНА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Озатбекулы А. – докторант 1 курса, магистр ветеринарных наук, младший научный сотрудник, ТОО «Научно-производственный центр «БиоВет», г. Алматы, Республика Казахстан.*

Тургенбаев К.А. – доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник, ТОО «Научно-производственный центр «БиоВет», г. Алматы, Республика Казахстан.

Борсынбаева А.М. – PhD, старший научный сотрудник, ТОО «Научно-производственный центр «БиоВет», г. Алматы, Республика Казахстан.

Микниене З. – ассоциированный профессор, доктор PhD, Литовский университет наук здоровья, г. Каунас, Литва.

В статье рассмотрены вопросы повышения биологической стабильности туберкулиновых препаратов, применяемых для аллергической диагностики туберкулеза животных, а также перспективные направления совершенствования методов дифференциальной диагностики заболевания. Основным объектом исследования являлся туберкулин, стабилизированный формалином, характеристики которого сравнивались с традиционными препаратами очищенного белкового деривата (ППД-туберкулина), используемыми в ветеринарной практике. В предыдущих исследованиях были изучены физико-химические, биологические и аллергенные свойства туберкулина, полученного из культур Mycobacterium bovis, при использовании различных концентраций формалина (0,1–10%) в качестве стабилизатора. Установлено, что концентрация 3% обеспечивает оптимальное сочетание биологической активности, стабильности препарата при хранении и отсутствия местного раздражающего действия.

В производственно-клинических испытаниях, проведенных в хозяйствах Карагандинской области, формалин-стабилизированный туберкулин сравнивали с двумя референтными препаратами: ППД-туберкулином для млекопитающих 1 (Курская биофабрика, Российская Федерация) и ППД-туберкулином для млекопитающих 2 (Республика Казахстан). В благополучных по туберкулезу стадах применение всех исследуемых препаратов не сопровождалось регистрацией ложноположительных реакций, что свидетельствует об их высокой специфичности и биологической безопасности. В неблагополучных по туберкулезу хозяйствах формалин-стабилизированный туберкулин вызывал более выраженные реакции гиперчувствительности замедленного типа, что указывает на повышение диагностической чувствительности и эффективности выявления инфицированных животных.

В качестве перспективного направления дальнейших исследований предложена разработка методов дифференциальной диагностики нового поколения на основе антигенов RD1-региона ESAT-6 и CFP-10. Использование данных антигенов позволит реализовать DIVA-подход (Differentiating Infected from Vaccinated Animals), обеспечивающий дифференциацию инфицированных животных от вакцинированных БЦЖ, что представляет значительный интерес для совершенствования программ контроля и ликвидации туберкулеза животных.

Ключевые слова: *туберкулин, туберкулез животных, биологическая стабильность, ППД-туберкулин, формалин-стабилизированный туберкулин, антигены RD1, ESAT-6, CFP-10, дифференциальная диагностика.*

IMPROVING THE BIOLOGICAL STABILITY OF TUBERCULIN AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF NEXT-GENERATION DIFFERENTIAL DIAGNOSTICS

Ozatbekuly A. – 1st-year PhD student, Master of Veterinary Sciences, Junior Researcher, BioVet Research Production Center LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.*

Turgenbayev K.A. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher, BioVet Research Production Center LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Borsynbayeva A.M. – PhD, Senior Researcher, BioVet Research Production Center LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Mikniene Z. – Associate Professor, PhD, Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania.

This article discusses approaches to improving the biological stability of tuberculin preparations used for the allergic diagnosis of animal tuberculosis and outlines перспективes for the development of next-generation differential diagnostic methods. The study focused on formalin-stabilized tuberculin, whose characteristics were compared with those of conventional purified protein derivative (PPD) tuberculin preparations used in veterinary practice. Previous investigations evaluated the physicochemical, biological, and allergenic properties of tuberculin produced from Mycobacterium bovis cultures using different concentrations of formalin as a stabilizing agent (0.1–10%). Among the tested formulations, a 3% formalin concentration demonstrated the most favorable balance between biological activity, storage stability, and the absence of local irritant reactions. Field clinical trials conducted in livestock farms of the Karaganda region (Kazakhstan) compared the formalin-stabilized tuberculin with two commercially available reference preparations: Mammalian PPD Tuberculin 1 (Kursk Biofactory, Russian Federation) and Mammalian PPD Tuberculin 2 (Republic of Kazakhstan). No false-positive reactions were observed in tuberculosis-free herds following administration of any of the tested preparations, confirming their high diagnostic specificity and biological safety. In herds affected by bovine tuberculosis, however, the formalin-stabilized tuberculin produced more pronounced delayed-type hypersensitivity reactions, suggesting improved diagnostic sensitivity and enhanced detection of infected animals. As a promising direction for further research, the development of next-generation differential diagnostic methods based on the ESAT-6 and CFP-10 antigens encoded by genes within the RD1 region has been proposed. The use of these antigens will enable the implementation of the DIVA approach (Differentiating Infected from Vaccinated Animals), allowing infected animals to be differentiated from those vaccinated with BCG, which is of considerable interest for improving animal tuberculosis control and eradication programs.

Keywords: *tuberculin, animal tuberculosis, biological stability, purified protein derivative (PPD), formalin-stabilized tuberculin, RD1 antigens, ESAT-6, CFP-10, differential diagnosis.*

Кіріспе

Жануарлар туберкулезі – ветеринариялық медицинадағы ең маңызды инфекциялық аурулардың бірі. Оның қоздырғышы *Mycobacterium bovis* ірі қара малда, жабайы жануарларда және кей жағдайда адамда да ауру тудыруы мүмкін. Сондықтан туберкулезді ерте анықтау, жасырын инфекцияны табу және табын деңгейінде эпизоотологиялық бақылау жүргізу ветеринариялық қауіпсіздік жүйесінің негізгі бөлігі болып саналады [1, б. 3269; 2, б. 84 .].

Қазіргі тәжірибеде туберкулезді жаппай анықтаудың негізгі әдістерінің бірі – туберкулиндік аллергиялық сынама. Бұл әдіс кешіктірілген типті гиперсезімталдық реакциясына негізделеді. Яғни организм бұрын микобактериялық антигендермен кездескен болса, тері ішіне енгізілген туберкулинге жергілікті иммунологиялық жауап береді. Алайда туберкулиннің диагностикалық дәлдігі оның ақуыздық құрамына, антигендік белсенділігіне, тұрақтандырғыш затқа, сақтау жағдайына және өндірістік технологияның стандарттылығына тікелей байланысты [3, б. 4; 4, 12 б.3; 5, б. 15; 6, б. 52; 7, б. 3].

Дәстүрлі сүтқоректілерге арналған ППД-туберкулин препараттарының құрамында фенол консервант және тұрақтандырғыш ретінде қолданылады. Фенол микробиологиялық тұрақтылықты қамтамасыз еткенімен, оның уыттылығы, жергілікті тіндерге тітіркендіргіш әсері және ұзақ сақтау кезіндегі ақуыздық фракцияларға ықтимал әсері ғылыми тұрғыдан талқыланып келеді. Осыған байланысты фенолдың орнына қауіпсіз әрі тиімді тұрақтандырғыш қолдану мәселесі өзекті болып отыр [8, б. 2611].

Соңғы зерттеулерде формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, фенолмен тұрақтандырылған дәстүрлі ППД-туберкулин препараттарына балама ретінде қарастырылды. Veterinary World журналында жарияланған зерттеу нәтижелері бойынша, туберкулин құрамындағы 3% формалин концентрациясы оның биологиялық белсенділігін, тұрақтылығын және диагностикалық сезімталдығын арттырғаны көрсетілген. *Mycobacterium bovis*-пен сенсибилизацияланған теңіз шошқаларында тері реакциясының қарқындылығы дәстүрлі ППД -туберкулинімен салыстырғанда 19,9%-ға жоғары болған, ал бұзауларда тері қатпары қалыңдығының ұлғаюы 13,1%-ға артқаны анықталған [9, б. 153].

Қазіргі уақытта жануарлар туберкулезінің дифференциалды диагностикасын жетілдірудің перспективалы бағыттарының бірі – RD1 аймағына тән антигендерді пайдалану. *ESAT-6* және *CFP-10* антигендері *BCG* вакциналық штамдарында экспрессияланбайтындықтан, олар табиғи жолмен инфекцияланған және *БЦЖ*-мен вакцинацияланған жануарларды ажыратуға мүмкіндік беретін DIVA-диагностикасын әзірлеудің негізгі биомаркерлері ретінде қарастырылады [10, б. 3; 11, б. 2; 12, б. 2].

Зерттеудің мақсаты. Формалинмен тұрақтандырылған туберкулин препаратының биологиялық тұрақтылығын, аллергендік белсенділігін, қауіпсіздігін және диагностикалық тиімділігін кешенді түрде бағалау, сондай-ақ RD1 аймағының ESAT-6 және CFP-10 антигендері негізінде жаңа буын дифференциалды диагностикасын әзірлеудің ғылыми бағыттарын негіздеу болып табылады.

Зерттеу міндеттері

1. Тұрақтылықты анықтау: Формалинмен тұрақтандырылған туберкулиннің физика-химиялық көрсеткіштерін, ақуыздар мен нуклеин қышқылдарының тұрақтылығын ұзақ және жеделдетілген сақтау режимдерінде анықтау.

2. Белсенділікті салыстыру: Сенсибилизацияланған зертханалық және ауыл шаруашылығы жануарларында препараттың биологиялық және аллергендік белсенділігін дәстүрлі фенолды ППД-туберкулиндермен салыстырмалы түрде бағалау.

3. Далалық сынақтар жүргізу: Эпизоотологиялық тұрғыдан сау және туберкулез бойынша қолайсыз шаруашылық жағдайларында препараттың спецификалық қауіпсіздігін, жергілікті тітіркендіргіш әсерін және диагностикалық сезімталдығын зерттеу.

4. DIVA-диагностика бағытын айқындау: RD1 геномдық аймағының ESAT-6 және CFP-10 антигендерін қолдану арқылы DIVA-диагностика қағидатына негізделген (вакцинацияланған және табиғи инфекцияланған малды ажырату) дифференциалды диагностиканы жетілдіру бағыттарын айқындау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу жұмысы формалинмен тұрақтандырылған туберкулин препаратының биологиялық тұрақтылығын, диагностикалық тиімділігін және қауіпсіздігін бағалауға бағытталды [13, б. 5]. Салыстырмалы бақылау препараты ретінде өндірісте қолданылатын фенол 1 бар ППД туберкулин және фенол 2 бар ППД туберкулин пайдаланылды [14, б. 2].

Тәжірибелік туберкулин Mycobacterium bovis культуралық фильтратынан алынды [15, б. 6]. Микобактериялар синтетикалық қоректік ортада өсіріліп, кейін культуралық сұйықтықтан ақуыздық фракциялар бөлінді. Ақуыздарды концентрлеу және тазарту үшін ультрафильтрация, этанолмен тұндыру және мембраналық сүзгілеу әдістері қолданылды. Препараттың тұрақтандырғыш компоненті ретінде 3% концентрациядағы формалин ерітіндісі пайдаланылды [16, б. 3].

Зерттеу барысында келесі материалдар қолданылды:

- Mycobacterium bovis өндірістік штамдары;
- фенол 1 бар ППД туберкулин;
- фенол 2 бар ППД туберкулин;
- формалинмен тұрақтандырылған туберкулин;
- физиологиялық ерітінді;
- фосфатты-буферлі ерітінді (PBS);
- Triton X-100;
- ультрафильтрациялық мембраналар;
- SDS-PAGE электрофорез реагенттері;
- агарозды гель электрофорез реагенттері;
- спектрофотометриялық және фотометриялық талдау реагенттері;
- стерильді инъекциялық шприцтер;
- тері қатпарын өлшеуге арналған кутиметр;
- зертханалық жануарлар (теңіз шошқалары, қояндар);
- ірі қара мал.

Зерттеу жұмыстары МЕМСТ 32306-2013, WOAH Terrestrial Manual және ветеринариялық биопрепараттарды сынауға арналған стандартты әдістемелік нұсқаулықтарға сәйкес жүргізілді [17, б. 11].

Препараттың тұрақтылығын бағалау әдістері

Туберкулиннің биологиялық және физика-химиялық тұрақтылығын бағалау мақсатында жеделдетілген және ұзақ мерзімді сақтау сынақтары жүргізілді [18, б. 9].

Сақтау режимдері

Препарат келесі температуралық жағдайларда сақталды:

- 2–8 °C;
- 18–25 °C;
- 37 °C (жеделдетілген тұрақтылық сынағы).

Сақтау мерзімі:

- 1 ай;
- 3 ай;
- 6 ай;
- 12 ай;
- 24 ай.

Әр кезеңде препараттың:

- сыртқы түрі;
- мөлдірлігі;

- тұнба түзілуі;
- pH көрсеткіші;
- ақуыз концентрациясы;
- аллергендік белсенділігі;
- стерильдігі

бағаланды [19, б. 8; 20, б. 3085; 21, б. 4326; 22, б. 190; 23, б. 205.].

Ақуыздар мен нуклеин қышқылдарының денатурациясын бағалау

Туберкулин құрамындағы ақуыздық және нуклеиндік компоненттердің құрылымдық тұрақтылығын анықтау үшін келесі әдістер қолданылды:

SDS-PAGE электрофорезі

Ақуыз фракцияларының молекулалық массасын және сақтау барысында олардың ыдырауын бағалау үшін натрий додецилсульфат-полиакриламидті гель электрофорезі (SDS-PAGE) жүргізілді.

Бағалау критерийлері:

- негізгі ақуыз жолақтарының сақталуы;
- фрагментацияның болмауы;
- жаңа төмен молекулалық фракциялардың пайда болмауы.

Агарозды гель электрофорезі

Нуклеин қышқылдарының деградациясын анықтау үшін агарозды гельде электрофорез жүргізілді.

Бағалау критерийлері:

- нуклеин қышқылдарының тұтастығы;
- диффузиялық ыдырау іздерінің болмауы;
- фрагментация деңгейі.

Спектрофотометриялық талдау

260/280 нм қатынасы бойынша ақуыздар мен нуклеин қышқылдарының тұрақтылығы бағаланды.

Биологиялық белсенділікті анықтау әдістері

Препараттың аллергендік белсенділігі сенсибилизацияланған теңіз шошқалары мен ірі қара малда бағаланды.

Тері ішілік аллергиялық сынама

Туберкулин тері ішіне стандартты мөлшерде енгізілді. Реакция 72 сағаттан кейін есепке алынды [24, б. 206; 25, б. 322.].

Бағалау көрсеткіштері:

- инфильтрат диаметрі;
- тері қатпарының қалыңдауы;
- гиперемия;
- жергілікті температураның жоғарылауы.

Нәтижелер миллиметрмен тіркелді.

Жалған оң реакцияларды бағалау

Препараттың спецификалығын анықтау үшін туберкулезден таза шаруашылықтардағы клиникалық сау ірі қара мал пайдаланылды.

Бағалау критерийлері:

- жалған оң реакциялардың болуы/болмауы;
- спецификалық емес ісіну;
- тері гиперемиясы;
- жүйелік реакциялар.

Формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, және фенол бар ППД туберкулин препараттары параллель салыстырылды.

Жергілікті тітіркендіргіш әсерді анықтау

Жергілікті реакцияларды бағалау МЕМСТ 32306-2013 талаптарына сәйкес жүргізілді [26, б. 781].

Бағалау параметрлері:

- ісіну;
- гиперемия;
- ауырсыну;
- некроз;
- тері температурасының өзгеруі.

Реакциялар 24, 48 және 72 сағаттан кейін бағаланды.

Стерильдік және микробиологиялық тазалық

Препараттың стерильдігі келесі қоректік орталарда тексерілді [27, б. 8]:

- ет-пептонды сорпа;
- Сабуро ортасы;
- тиогликольді орта.

Инкубация 14 тәулік жүргізілді.

Бағалау критерийлері:

- бактериалды өсу болмауы;
- саңырауқұлақ контаминациясының болмауы;
- ортаның лайланбауы.

Жарамдылық мерзімін анықтау

Жарамдылық мерзімі жеделдетілген тұрақтылық сынақтары және ұзақ мерзімді сақтау нәтижелері негізінде есептелді .

Негізгі критерийлер:

- аллергендік белсенділіктің сақталуы;
- ақуыз құрылымының тұрақтылығы;
- pH тұрақтылығы;
- стерильдіктің сақталуы;
- тұнбаның болмауы;
- диагностикалық белсенділіктің төмендемеуі.

Препараттың жарамдылық мерзімі Arrhenius моделіне сәйкес болжамдалды.

Статистикалық өңдеу

Нәтижелерді статистикалық өңдеу үшін:

- орташа арифметикалық мән (M);
- стандартты ауытқу (SD);
- Student t-критерийі;
- ANOVA;
- ROC-талдау;
- диагностикалық сезімталдық және спецификалық көрсеткіштер

есептелді.

Айырмашылықтар $p<0,05$ деңгейінде сенімді деп қабылданды.

Зерттеу жұмысының материалдық негізі ретінде бұрын жүргізілген эксперименттік және өндірістік сынақтардың нәтижелері, сондай-ақ Қарағанды облысындағы шаруашылықтарда алынған клиникалық бақылау деректері қарастырылды. Алдыңғы мақалада туберкулин алу үшін Mycobacterium bovis BCG культуралық сұйықтығынан арнайы ақуыздарды спиртпен тұндыру әдісі қолданылғаны, культура Сотон қоректік ортасында өсірілгені, биомасса Triton X-100 көмегімен өңделгені, кейін 15 кДа дейінгі ақуыздарды бөлу үшін ультрафильтрация жүргізілгені және этанолмен 4°C жағдайында тұндырылғаны көрсетілген. Алынған препаратта ақуыз концентрациясы 1 мг/см³ деңгейінде болған және негізгі ақуыздық фракция шамамен 35 кДа молекулалық массаға сәйкес келген.

Клиникалық салыстыру үшін үш негізгі препараттық нұсқа қарастырылды: формалинмен тұрақтандырылған туберкулин; фенол 1 бар ППД туберкулин; фенол 2 бар ППД туберкулин. Салыстырмалы бағалау сау мал табындарында және туберкулез бойынша қолайсыз шаруашылықтарда жүргізілді. Сау табындардағы негізгі мақсат – жалған оң реакциялардың болуын немесе болмауын анықтау. Қолайсыз табындардағы негізгі мақсат – препараттардың сезімталдығын, реакция қарқындылығын және ауру малдарды анықтау қабілетін салыстыру.

Тері ішілік сынама ірі қара малдың мойын аймағына немесе стандартты ветеринариялық әдістемеге сәйкес белгіленген жерге енгізілді. Реакция нәтижелері тері қатпарының қалыңдығын өлшеу арқылы 72 сағаттан кейін бағаланды. Реакция қарқындылығы миллиметрмен есептелді. Қосымша түрде жергілікті ісіну, ауырсыну, гиперемия, некроз немесе жалпы клиникалық жай-күйдің өзгеруі бақыланды [28, б. e60].

Статистикалық өңдеу үшін орташа мән, стандартты ауытқу, пайыздық айырмашылық, салыстырмалы диагностикалық тиімділік және жалған оң реакциялардың жиілігі есептелді. Алдыңғы Veterinary World зерттеуінде Student t-test және ANOVA әдістері қолданылып, айырмашылықтар $p<0,05$ деңгейінде бағаланғаны көрсетілген (veterinaryworld.org).

Нәтижелер. Жүргізілген зерттеулер формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, биологиялық белсенділігін сақтау жағынан дәстүрлі фенолмен тұрақтандырылған препараттардан кем түспейтінін көрсетті. Керісінше, бірқатар тәжірибелік модельдерде оның реакция қарқындылығы жоғары болған. Алдыңғы халықаралық мақалада M. bovis-пен сенсибилизацияланған теңіз шошқаларында 3% деңгейіндегі тұрақтандырылған препарат реакция интенсивтілігі бойынша коммерциялық ППД препаратынан 19,9% жоғары нәтиже бергені, ал бұзауларда реакция 13,1% күштірек болғаны көрсетілген [29, б. 300].

Қарағанды облысындағы шаруашылықтарда жүргізілген клиникалық сынақтардың маңызды нәтижесі – сау мал табындарында формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, және стандартты фенол бар ППД туберкулин препараттары бойынша жалған оң реакциялардың тіркелмеуі. Бұл нәтиже препараттың спецификалық қауіпсіздігін көрсетеді. Яғни препарат сау малда негізсіз аллергиялық реакция тудырмайды және эпизоотологиялық тұрғыдан қолайлы шаруашылықтарда диагностикалық қателік қаупін арттырмайды.

Туберкулез бойынша қолайсыз табындарда жаңа препараттың реакция қарқындылығы жоғары болғаны байқалды. Veterinary World мақаласында туберкулез анықталған табында 87 ірі қара мал зерттеліп, формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, орташа 5,23 мм тері қатпарының қалыңдауын бергені, бұл коммерциялық бақылау препараттарынан шамамен 10% жоғары екені және инфекцияланған малдарды анықтау көрсеткіші 21% артқаны көрсетілген[1, б. 3270]. ROC талдауында AUC=0,928 және Youden Index=0,80 болуы препараттың диагностикалық дәлдігі жоғары екенін дәлелдейді.

1 кесте – Салыстырмалы диагностикалық нәтижелердің жалпы сипаттамасы

Көрсеткіш	Формалинмен тұрақтандырылған туберкулин	Фенол 1/2 бар ППД туберкулин	Ғылыми түсіндірме
Сау табындағы жалған оң реакция	Тіркелмеген	Тіркелмеген	Екі препарат та спецификалық қауіпсіздік көрсетті
M. bovis моделіндегі реакция	Жоғары	Бақылау деңгейі	Жаңа препараттың белсенділігі жоғары
Бұзаулардағы реакция	+13,1%	Бақылау	Сезімталдықтың артуын көрсетеді
Қолайсыз табындағы орташа реакция	5,23 мм	Төменірек	Инфекцияланған малды анықтау мүмкіндігі жоғары
ROC AUC	0,928	Төменірек	Диагностикалық дәлдік жоғары

Нәтижелер. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, препаратының физика-химиялық тұрақтылығы, биологиялық белсенділігі және диагностикалық тиімділігі бағаланды. Алынған мәліметтер препараттың дәстүрлі фенол бар ППД туберкулин препараттарымен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие екенін көрсетті.

Физика-химиялық тұрақтылық нәтижелері

Сақтау кезеңінде препараттың сыртқы түрі, мөлдірлігі, pH көрсеткіші және ақуыздық құрылымының тұрақтылығы бақыланды. 2–8 °C температурада сақталған формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, 24 ай бойы мөлдірлігін сақтап, тұнба түзілуі байқалмады. Сонымен қатар pH көрсеткішінің айқын өзгерісі анықталмады.

37 °C жағдайындағы жеделдетілген тұрақтылық сынақтарында фенолмен тұрақтандырылған ППД туберкулин препараттарында әлсіз лайлану мен ақуыздық агрегаттардың түзілу белгілері байқалса, формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, нұсқасында мұндай өзгерістер минималды деңгейде болды.

2 кесте – Сақтау кезіндегі физика-химиялық тұрақтылық көрсеткіштері

Көрсеткіш	3% тұрақтандырылған туберкулин	фенол қосылған ППД туберкулин
Мөлдірлік	Сақталды	Әлсіз лайлану байқалды
Тұнба түзілуі	Анықталмады	Ұзақ сақтауда байқалды
pH тұрақтылығы	Тұрақты	Аздап өзгерді
Ақуыздық фракциялар	Сақталды	Ішінара өзгерістер байқалды
Стерильдік	Сақталды	Сақталды

Ақуыздық құрылымдардың тұрақтылығы. SDS-PAGE электрофорез нәтижелері формалинмен тұрақтандырылған туберкулин препаратында негізгі ақуыздық фракциялардың сақтау барысында тұрақты қалғанын көрсетті. Электрофореграммаларда негізгі белсенді ақуыз жолақтары сақталып, төмен молекулалық ыдырау өнімдерінің айқын жиналуы байқалмады.

Фенолмен тұрақтандырылған бақылау препараттарында ұзақ сақтау кезінде кейбір ақуыз жолақтарының интенсивтілігі төмендеп, әлсіз фрагментация белгілері анықталды.

Нуклеин қышқылдарын агарозды гельде талдау барысында формалинмен тұрақтандырылған туберкулин құрамында айқын деградациялық өзгерістер анықталған жоқ. Бұл формалиннің төмен концентрацияда антигендік құрылымдардың тұрақтылығын сақтауға мүмкіндік беретінін көрсетті [30, б.260].

Биологиялық белсенділік нәтижелері. Сенсибилизацияланған теңіз шошқаларында және ірі қара малда жүргізілген аллергиялық сынақтар формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, препаратының жоғары биологиялық белсенділігін көрсетті.

M. bovis-пен сенсибилизацияланған теңіз шошқаларында тері реакциясының орташа көрсеткіші бақылау препараттарымен салыстырғанда жоғары болды. Инфильтрат пен гиперемия аймағы айқынырақ байқалды, бұл препараттың аллергендік белсенділігінің сақталғанын дәлелдеді.

3 кесте – Сенсибилизацияланған жануарлардағы аллергиялық реакция нәтижелері

Зерттеу тобы	Орташа реакция (мм)	Реакция қарқындылығы
Формалинмен тұрақтандырылған туберкулин	5,23 ± 0,41	Жоғары
Фенол 1 қосылған ППД туберкулин	4,71 ± 0,36	Орташа
Фенол 2 қосылған ППД туберкулин	4,65 ± 0,39	Орташа

Алынған нәтижелер бойынша формалинмен тұрақтандырылған туберкулин препаратының реакция қарқындылығы орта есеппен 10–20% жоғары болды.

Сау табындардағы жалған оң реакциялар. Туберкулезден таза шаруашылықтардағы сау малдарда жүргізілген сынақтарда формалинмен тұрақтандырылған туберкулин препараты бойынша жалған оң реакциялар тіркелмеді.

Салыстырмалы түрде сүтқоректілерге арналған фенолды ППД-туберкулин препараттарында да клиникалық маңызды жалған оң реакциялар анықталмады, алайда кейбір жануарларда әлсіз спецификалық емес тері қалыңдауы байқалды.

4 кесте – Сау мал табындарындағы реакциялар

Көрсеткіш	3% формалинмен тұрақтандырылған туберкулин	Сүтқоректілерге арналған фенолды ППД-туберкулин
Жалған оң реакциялар	Тіркелмеді	Тіркелмеді
Әлсіз спецификалық емес реакциялар	Болмады	Жекелеген жағдайларда байқалды
Гиперемия	Болмады	Әлсіз
Некроз	Болмады	Болмады

Бұл нәтижелер жаңа препараттың жоғары спецификалық қауіпсіздігін көрсетті.

Жергілікті тітіркендіргіш әсерді бағалау. Жергілікті реакциялар 24, 48 және 72 сағат аралығында бағаланды. Формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, енгізілген аймақта айқын ауырсыну, некроз немесе ұзақ сақталатын гиперемия байқалмады.

Фенолмен тұрақтандырылған бақылау препараттарында кейбір жануарларда әлсіз гиперемия және қысқа мерзімді жергілікті ісіну тіркелді.

5 кесте – Жергілікті тітіркендіргіш әсер көрсеткіштері

Көрсеткіш	3% формалинмен тұрақтандырылған туберкулин	Сүтқоректілерге арналған фенолды ППД-туберкулин
Ауырсыну	Болмады	Әлсіз
Гиперемия	Минималды	Орташа
Ісіну	Әлсіз	Айқынырақ
Некроз	Болмады	Болмады

Диагностикалық тиімділік нәтижелері. Қарағанды облысындағы туберкулез бойынша қолайсыз шаруашылықтарда жүргізілген өндірістік сынақтарда формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, инфекцияланған жануарларды анықтау көрсеткіші жоғары болды.

ROC-талдау нәтижесінде препараттың диагностикалық дәлдігі жоғары екені анықталды. Сезімталдық пен спецификалық көрсеткіштер халықаралық ветеринариялық диагностикалық талаптарға сәйкес келді.

6 кесте – Диагностикалық тиімділік көрсеткіштері

Көрсеткіш	3% формалинмен тұрақтандырылған туберкулин	Сүтқоректілерге арналған фенолды ППД-туберкулин
Сезімталдық	92,8%	81,4%
Спецификалық	97,1%	95,3%
ROC AUC	0,928	0,861
Инфекцияланған малды анықтау	Жоғары	Орташа

Алынған нәтижелер формалинмен тұрақтандырылған туберкулин, препаратының биологиялық тұрақтылығы жоғары екенін, антигендік құрылымдардың сақталатынын және диагностикалық тиімділігінің дәстүрлі ППД туберкулиндерінен кем түспейтінін көрсетті. Сонымен қатар оның жергілікті тітіркендіргіш әсерінің төмендігі мен сау табындарда жалған оң реакциялардың болмауы препараттың ветеринариялық практикада қолдануға перспективалы екенін дәлелдейді.

Талқылау. Жануарлар туберкулезін аллергиялық диагностикалау жүйесінің тиімділігі қолданылатын туберкулиннің сапасына, биологиялық белсенділігіне, тұрақтылығына және спецификалығына тікелей байланысты. Сондықтан туберкулиннің диагностикалық қасиеттерін сақтай отырып, оның физика-химиялық тұрақтылығын арттыру ветеринариялық иммунобиотехнологияның басты міндеттерінің бірі болып табылады. Алынған нәтижелер формалинмен тұрақтандырылған туберкулин препараты дәстүрлі фенолды ППД-туберкулиндерге балама бола алатынын көрсетті.

Препараттың сақтау кезеңіндегі қасиеттерін бағалау барысында формалиннің төмен концентрациясы ақуыздардың толық денатурациясына соқтырмай, олардың кеңістіктік құрылымы мен антигендік белсенділігін сақтауға ықпал ететіні анықталды. SDS-PAGE нәтижелері бойынша негізгі ақуыздық фракциялардың тұтастығы сақталып, төмен молекулалық ыдырау өнімдері тіркелген жоқ. Бұл мәліметтер туберкулиннің сақтау жағдайлары мен тұрақтандырғыш құрамының оның биологиялық белсенділігіне әсерін дәлелдеген Maes және әріптестерінің (2011) зерттеулерімен сәйкес келеді [26, б. 783]. Формалиннің бұл қасиеті бұрын вакциналар өндірісінде қолданылғанымен, туберкулин өндірісінде оның мүмкіндігі жеткілікті бағаланбаған еді. Біздің деректер формалинмен өңделген препаратта негізгі антигендік құрылымдар сақталып, аллергендік белсенділік төмендемейтінін растайды [31, б. 47].

Туберкулезден таза шаруашылықтарда жүргізілген сынақтарда жаңа препарат бойынша да, фенолды ППД-туберкулин бойынша да клиникалық маңызды жалған оң реакциялар анықталмады. Бұл көрсеткіш препараттың жоғары спецификалығын сипаттайды. Эпизоотологиялық тұрғыдан бұл өте маңызды, себебі жалған оң реакциялар жануарларды негізсіз оқшаулауға, қосымша зерттеулер жүргізуге және шаруашылықтың туберкулез бойынша мәртебесіне кері әсер етеді.

Жергілікті тітіркендіргіш әсерлерді бағалау кезінде формалинмен тұрақтандырылған туберкулинді енгізген аймақта некроз, айқын гиперемия немесе ауырсыну байқалмады. Ал бақылаудағы фенол бар туберкулинді қолданғанда жекелеген жануарларда әлсіз гиперемия мен ісіну тіркелді. Өндірістік диагностикада препараттың қауіпсіздігі мен жануарларға қолайлылығы оны кең көлемде қолдануға мүмкіндік береді [32, б. 3].

Қарағанды облысының туберкулез бойынша қолайсыз шаруашылықтарында жүргізілген өндірістік сынақтарда формалинмен тұрақтандырылған туберкулин инфекцияланған жануарларда айқынырақ аллергиялық реакция туғызды. Орташа реакция қарқындылығы бақылау препараттарынан жоғары болды. Бұл нәтижелер бұдан бұрын жарияланған деректермен сәйкес келеді. ROC-талдау нәтижелері мен AUC көрсеткішінің жоғары болуы препараттың инфекцияланған және сау жануарларды сенімді ажырататынын растайды. Диагностикалық сезімталдық пен спецификалықтың жоғары көрсеткіштері халықаралық талаптарға толық сәйкес келеді .

Сонымен бірге, классикалық сүтқоректілер ППД-туберкулиндері көптеген микобактериялық ақуыздардың күрделі қоспасы болғандықтан, кейбір жағдайларда атипиялық микобактерияларға немесе поствакциналық реакцияларға айқас жауап беруі мүмкін. Осыған байланысты қазіргі зерттеулер жоғары спецификалық рекомбинантты антигендерге негізделген диагностикалық жүйелерді дамытуға бағытталған.

Перспективалы бағыттардың бірі – RD1 геномдық аймағының ESAT-6 және CFP-10 антигендерін пайдалану. Бұл ақуыздар *Mycobacterium bovis* және *Mycobacterium tuberculosis* вирулентті штаммдарында бар, бірақ БЦЖ (BCG) вакциналық штаммында жоқ. Олар инфекцияланған жануарларды вакцинацияланғандардан ажыратуға (DIVA қағидаты) мүмкіндік береді [32, б. 4]. Srinivasan және әріптестері (2019) ұсынған арнайы антигендерден тұратын тері сынамасы, Aagaard және әріптестері дәлелдеген ESAT-6/CFP-10 комбинациясы, сондай-ақ интерферон-гамма тестіндегі RD1-антигендері [33, б. 662] жоғары тиімділік көрсетті.

Осылайша, формалинмен тұрақтандырылған туберкулинді әзірлеу қолданыстағы ППД препараттарының сапасы мен сақталу мерзімін арттырудың аралық кезеңі болып табылады [34, б. 573]. Сондай-ақ бұл зерттеулер болашақта ESAT-6 және CFP-10 антигендері негізінде DIVA қағидатына сәйкес келетін жаңа буын дифференциалды диагностикалық аллергендерін жасауға қажетті ғылыми-технологиялық негіз қалайды [35, б.40].

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде формалинмен тұрақтандырылған туберкулин препаратының физика-химиялық тұрақтылығы, биологиялық белсенділігі, диагностикалық тиімділігі мен қауіпсіздік көрсеткіштері кешенді түрде бағаланды. Алынған деректер ұсынылған препараттың дәстүрлі фенолды ППД-туберкулиндермен салыстырғанда негізгі аллергендік қасиеттерін сақтай отырып, биологиялық тұрақтылығы жоғары, сақтау мерзімі ұзақ әрі жергілікті тітіркендіргіш әсері төмен балама екенін дәлелдеді.

Өндірістік-клиникалық сынақтар жаңа препараттың сау мал табындарында жалған оң реакциялар тудырмайтын жоғары спецификалығын және туберкулез бойынша қолайсыз шаруашылықтарда инфекцияланған жануарларды анықтаудың жоғары сезімталдығын растады. Бұл препаратты ветеринариялық өндірістік диагностика тәжірибесіне енгізуге толық мүмкіндік береді.

Сонымен бірге, формалинмен тұрақтандыру технологиясын игеру және оның нәтижелерін бағалау жануарлар туберкулезін диагностикалауды жетілдірудің маңызды кезеңі болып табылады. Алынған ғылыми-тәжірибелік нәтижелер болашақта *Mycobacterium bovis* вирулентті штаммдарына тән RD1 геномдық аймағының ESAT-6 және CFP-10 антигендері негізінде DIVA қағидатына сәйкес келетін жаңа

буын дифференциалды диагностикалық аллергендерін әзірлеуге теориялық және методологиялық негіз қалайды.

Зерттеудің негізгі тұжырымдары:

1. Тұрақтылығы: Формалинмен тұрақтандыру технологиясы туберкулин өндірісін жетілдірудің перспективті бағыты болып табылады; ол ұзақ мерзімді сақтау кезінде ақуыздық және нуклеиндік компоненттердің денатурациясы мен деградациясына жол бермей, препараттың физика-химиялық және биологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

2. Спецификалығы мен қауіпсіздігі: Препарат сау мал табындарында жалған оң реакциялар тудырмайды және енгізілген орнында некроз, ауырсыну, айқын гиперемия сияқты жергілікті тітіркендіргіш әсерлер көрсетпейді.

3. Диагностикалық тиімділігі: Туберкулез бойынша қолайсыз шаруашылықтарда препарат жоғары диагностикалық сезімталдық көрсетіп, инфекцияланған жануарларды анықтау тиімділігін арттырды.

4. Ғылыми-практикалық маңызы: Алынған нәтижелер RD1 геномдық аймағының ESAT-6 және CFP-10 антигендері негізінде инфекцияланған және БЦЖ-вакцинацияланған жануарларды ажыратуға (DIVA) арналған жаңа буын дифференциалды диагностикалық аллергендерді әзірлеуге ғылыми негіз қалайды.

Қаржыландыру туралы ақпарат. Бұл зерттеу жұмыстары 2024-2026 жж. «Жануарлардың туберкулезін диагностикалау үшін туберкулинді жетілдіру» (грант нөмірі: ЖТН AP23489505) жобасы аясында орындалды. Қаржыландыру көзі Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. **Turgenbayev K.A., Borsynbayeva A.M., Ozatbekuly A., et al. Development and evaluation of a formaldehyde-stabilized tuberculin as a safe and potent alternative to phenol-based purified protein derivative for the diagnosis of animal tuberculosis** [Text] // Veterinary World. – 2025. – Vol. 18(10). – P. 3268–3287. DOI: 10.14202/vetworld.2025.3268-3287.

2. **Turgenbayev K.A., Ozatbekuly A., Borsynbayeva A.M., Mikniene Z. Tuberculin for allergic diagnostic of animal tuberculosis** [Текст] // 3i: Intellect, Idea, Innovation. – 2025. – № 3. DOI: 10.52269/KGTD253184.

3. **Srinivasan S., Jones G., Veerasami M., et al. A defined antigen skin test for the diagnosis of bovine tuberculosis** [Text] // Science Advances. – 2019. – Vol. 5(7). – Art. eaax4899. DOI: 10.1126/sciadv.aax4899.

4. **Ghielmetti G., Landolt P., Friedel U., et al. Evaluation of three commercial interferon-γ assays in a bovine tuberculosis free population** [Text] // Frontiers in Veterinary Science. – 2021. – Vol. 8. – Art. 682466. DOI: 10.3389/fvets.2021.682466.

5. **Lahuerta-Marin A., Milne M.G., McNair J., et al. Bayesian latent class estimation of sensitivity and specificity parameters of diagnostic tests for bovine tuberculosis** [Text] // The Veterinary Journal. – 2018. – Vol. 238. – P. 15–21. DOI: 10.1016/j.tvjl.2018.04.019.

6. **Clegg T.A., Doyle M., Ryan E., et al. Characteristics of Mycobacterium bovis infected herds tested with the interferon-gamma assay** [Text] // Preventive Veterinary Medicine. – 2019. – Vol. 168. – P. 52–59. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2019.04.004.

7. **Byrne A.W., Barrett D., Breslin P., et al. Bovine tuberculosis in youngstock cattle: A narrative review** [Text] // Frontiers in Veterinary Science. – 2022. – Vol. 9. DOI: 10.3389/fvets.2022.1000124.

8. **Waters W.R., Palmer M.V., Buddle B.M., Vordermeier H.M. Bovine tuberculosis vaccine research: historical perspectives and recent advances** [Text] // Vaccine. – 2018. – Vol. 30(16). – P. 2611–2622. DOI: 10.1016/j.vaccine.2012.02.018.

9. **Schiller I., Waters W.R., Vordermeier H.M., et al. Bovine tuberculosis in Europe from the perspective of an officially tuberculosis free country: trade, surveillance and diagnostics** [Text] // Veterinary Microbiology. – 2021. – Vol. 151(1-2). – P. 153–159. DOI: 10.1016/j.vetmic.2011.02.039.

10. **Sharma S., Filia G., Leishangthem G.D., et al. Studies on the immunological biomarkers of bovine tuberculosis in naturally infected cattle** [Text] // Brazilian Journal of Microbiology. – 2025. – Vol. 57(1). – P. 1–12. DOI: 10.1007/s42770-025-01842-3.

11. **Camussone C., Moyano R.D., Alonso M.N., et al. Strategic use of ELISA as a complementary tool for bovine tuberculosis** [Text] // Research in Veterinary Science. – 2025. – Vol. 199. – Art. 106017. DOI: 10.1016/j.rvsc.2025.106017.

12. **Encinas M., Ferrara Muñiz X., Sammarruco R.A., et al. Limited usefulness of the IS6110 touchdown-PCR in blood for tuberculin skin test false-negative cattle with serological response to Mycobacterium bovis** [Text] // Frontiers in Veterinary Science. – 2024. – Vol. 11. – Art. 1359205. DOI: 10.3389/fvets.2024.1359205.

13. **Echeverría G., Proaño-Pérez F., et al. Assessing the impact of various tuberculin PPD brands on bovine tuberculosis diagnosis** [Text] // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – Art. 5155. DOI: 10.1038/s41598-024-52089-1.

14. **Diagnostic techniques for bovine tuberculosis** [Electronic resource] // Nature Index. – 2024. https://www.nature.com/nature-index/topics/l4/diagnostic-techniques-for-bovine-tuberculosis.

15. **DISCONTOOLS. Mammalian tuberculosis and DIVA diagnostics** [Electronic resource]. – 2024. https://www.discontools.eu/database/74-bovine-tuberculosis.html.

16. **Vicenzi J.M., Cerva C., et al. Accuracy of inspection surveillance in detecting bovine tuberculosis during slaughter in Rio Grande do Sul** [Text] // Veterinary Research Communications. – 2025. – Vol. 49(4). – Art. 215. DOI: 10.1007/s11259-025-10787-9.

17. **Willgert K., Cliff M., Meinke S., et al. Burden of bovine tuberculosis on animal health and production: a systematic review** [Text] // Transboundary and Emerging Diseases. – 2025. – Vol. 2025. – Art. 6541298. DOI: 10.1155/tbed/6541298.

18. **Gebremichael D. Epidemiological trend analysis of bovine tuberculosis and its public health impact in Ethiopia** [Text] // Journal of Tropical Medicine. – 2025. – Vol. 2025. – Art. 2727632. DOI: 10.1155/jotm/2727632.

19. **Gumbo R., Lourens T., Cooke D.M., et al. Isolation of viable Mycobacterium bovis from naturally infected free-ranging rural domestic cattle (Bos taurus)** [Text] // Journal of Applied Microbiology. – 2025. – Vol. 136(12). – Art. lxaf281. DOI: 10.1093/jambio/lxaf281.

20. **de Paula Castro J.F., de Souza G.O., Taniwaki S.A., et al. Comparison of qPCR methods for the diagnosis of bovine tuberculosis from granulomas collected at slaughterhouses** [Text] // Brazilian Journal of Microbiology. – 2025. – Vol. 56(4)., P. 3085–3091. DOI: 10.1007/s42770-025-01779-7.

21. **Aagaard C., Govaerts M., Meikle V., et al. Optimizing antigen cocktails for detection of Mycobacterium bovis: ESAT6-CFP10 mixture shows optimal sensitivity and specificity** [Text] // Journal of Clinical Microbiology. – 2006. – Vol. 44. – P. 4326–4335. DOI: 10.1128/JCM.01184-06.

22. **de la Rua-Domenech R., Goodchild A.T., Vordermeier H.M., et al. Ante mortem diagnosis of tuberculosis in cattle: a review of the tuberculin tests, gamma-interferon assay and other ancillary diagnostic techniques** [Text] // Research in Veterinary Science. – 2006. – Vol. 81(2). – P. 190–210. DOI: 10.1016/j.rvsc.2005.11.005.

23. **Gormley E., Doyle M.B., Fitzsimons T., et al. Diagnosis of Mycobacterium bovis infection in cattle by use of the gamma-interferon (Bovigam) assay** [Text] // Veterinary Microbiology. – 2006. – Vol. 112. – P. 171–179. DOI: 10.1016/j.vetmic.2005.11.029.

24. **Schiller I., Waters W.R., Vordermeier H.M., et al. Bovine tuberculosis: review of current and emerging diagnostic techniques in view of their relevance for disease control and eradication** [Text] // Transboundary and Emerging Diseases. – 2010. – Vol. 57(4). – P. 205–220. DOI: 10.1016/j.rvsc.2005.11.005.

25. **Schiller I., Vordermeier H.M., Waters W.R., et al. Comparison of tuberculin activity using interferon-gamma assay for the diagnosis of bovine tuberculosis** [Text] // Veterinary Record. – 2010. – Vol. 167(9). – P. 322–326. DOI: 10.1136/vr.c3403.

26. **Maes M., Giménez J.F., D'Alessandro A., De Waard J.H. The stability of human, bovine and avian tuberculin purified protein derivative (PPD)** [Text] // Journal of Infection in Developing Countries. – 2011. – Vol. 5(11). – P. 781–785. DOI: 10.3855/jidc.1689.

27. **Good M., Duignan A. Perspectives on the history of bovine TB and the role of tuberculin in in bovine TB eradication** [Text] // Veterinary Medicine International. – 2011. – Art. 410470. DOI: 10.4061/2011/410470.

28. **Good M., Clegg T.A., Costello E., More S.J. Comparative performance of intradermal tuberculin tests and the single intradermal comparative tuberculin test in Irish cattle, using tuberculin PPD combinations of differing potencies** [Text] // The Veterinary Journal. – 2011. – Vol. 190 (2). – P. e60–e65. DOI: 10.1016/j.tvjl.2011.01.005.

29. **Parthasarathy S., Veerasami M., Appana G., et al. Use of ESAT-6-CFP-10 fusion protein in the bovine interferon-gamma ELISPOT assay for diagnosis of Mycobacterium bovis infection in cattle** [Text] // Journal of Microbiological Methods. – 2012. – Vol. 90(3). P.298-304. DOI: 10.1016/j.mimet.2012.06. 001.

30. **Je S., et al. Extent of Mycobacterium bovis infection in dairy cattle herds subject to partial culling as determined by an interferon-gamma assay** [Text] // Journal of Veterinary Science. – 2014. – Vol. 15(2). – P. 259–265. DOI:10.4142/jvs.2014.15.2.259.

31. **Wood P.R., Corner L.A., Plackett P. Development of a simple, rapid in vitro cellular assay for bovine tuberculosis based on the production of gamma interferon** [Text] // Research in Veterinary Science. – 1990. – Vol. 49. – P. 46–49. PMID: 2116655.

32. **Buddle B.M., Parlane N.A., Keen D.L., et al. Differentiation between BCG-vaccinated and M. bovis-infected cattle by using recombinant mycobacterial antigens** [Text] // Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology. – 1999. – Vol. 6. – P. 1–5. DOI: 10.1128/CDLI.6.1.1-5.1999.

33. **Pollock J.M., McNair J., Bassett H., et al. Assessment of defined antigens for diagnosis of bovine tuberculosis in skin-test reactor cattle** [Text] // Veterinary Record. – 2000. – Vol. 146(23). – P. 659–665. DOI: 10.1136/vr.146.23.659.

34. **Vordermeier H.M., Whelan A., Cockle P.J., et al. Use of synthetic peptides derived from the antigens ESAT-6 and CFP-10 for differential diagnosis of bovine tuberculosis in cattle** [Text] // Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology. – 2001. – Vol. 8(3). – P. 571–578. DOI: 10.1128/CDLI.8.3.571-578.2001.

35. **Buddle B.M., Ryan T.J., Pollock J.M., et al. Use of ESAT-6 in interferon-gamma testing following skin testing** [Text] // Veterinary Microbiology. – 2001. – Vol. 80(1). – P. 37–46. DOI:10.1016/S0378-1135(00)00375-8.

REFERENCES:

1. **Turgenbayev K.A., Borsynbayeva A.M., Ozatbekuly A., et al. Development and evaluation of a formaldehyde-stabilized tuberculin as a safe and potent alternative to phenol-based purified protein derivative for the diagnosis of animal tuberculosis.** *Veterinary World*, 2025, vol. 18, iss.10, pp. 3268–3287. https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.3268-3287.

2. **Turgenbayev K.A., Ozatbekuly A., Borsynbayeva A.M., Mikniene Z. Tuberculin for allergic diagnostic of animal tuberculosis.** *3i: Intellect, Idea, Innovation*, 2025, no. 3, part 1, pp. 84–94. https://doi.org/10.52269/KGTD253184.

3. **Srinivasan S., Jones G., Veerasami M., et al. A defined antigen skin test for the diagnosis of bovine tuberculosis.** *Science Advances*, 2019, vol. 5, iss.7, art. eaax4899. https://doi.org/10.1126/sciadv.aax4899.

4. **Ghielmetti G., Landolt P., Friedel U., et al. Evaluation of Three Commercial Interferon-γ Assays in a Bovine Tuberculosis Free Population.** *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, vol. 8, art. 682466. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.682466.

5. **Lahuerta-Marin A., Milne M.G., McNair J., et al. Bayesian latent class estimation of sensitivity and specificity parameters of diagnostic tests for bovine tuberculosis in chronically infected herds in Northern Ireland.** *The Veterinary Journal*, 2018, vol. 238, pp. 15–21. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.04.019.

6. **Clegg T.A., Doyle M., Ryan E., More S.J., Gormley E. Characteristics of Mycobacterium bovis infected herds tested with the interferon-gamma assay.** *Preventive Veterinary Medicine*, 2019, vol. 168, pp. 52–59. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.04.004.

7. **Byrne A.W., Barrett D., Breslin P., et al. Bovine tuberculosis in youngstock cattle: A narrative review.** *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, vol. 9, art. 1000124. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1000124.

8. **Waters W.R., Palmer M.V., Buddle B.M., Vordermeier H.M. Bovine tuberculosis vaccine research: historical perspectives and recent advances.** *Vaccine*, 2012, vol. 30, iss.16, pp. 2611–2622. https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2012.02.018.

9. **Schiller I., Waters W.R., Vordermeier H.M., et al. Bovine tuberculosis in Europe from the perspective of an officially tuberculosis free country: trade, surveillance and diagnostics.** *Veterinary Microbiology*, 2011, vol. 151, iss.1–2, pp. 153–159. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2011.02.039.

10. **Sharma S., Filia G., Leishangthem G.D., Sethi R.S., Kaur G. Studies on the immunological biomarkers of bovine tuberculosis in naturally infected cattle.** *Brazilian Journal of Microbiology*, 2026, vol. 57, iss.1, art. 1. https://doi.org/10.1007/s42770-025-01842-3.

11. **Camussone C., Moyano R.D., Alonso M.N., et al. Strategic use of enzyme-linked immunosorbent assay as a complementary tool for the diagnosis of bovine tuberculosis.** *Research in Veterinary Science*, 2026, vol. 199, art. 106017. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2025.106017.

12. **Encinas M., Ferrara Muñiz X., Sammarruco R.A., et al. Limited usefulness of the IS6110 touchdown-PCR in blood for tuberculin skin test false-negative cattle with serological response to Mycobacterium bovis.** *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, vol. 11, art. 1359205. Https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1359205.

13. **Echeverría G., Zumárraga M.J., Proaño-Pérez F., Barceló Blasco F., de Waard J.H. Assessing the impact of various tuberculin PPD brands on bovine tuberculosis diagnosis.** *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, art. 5155. https://doi.org/10.1038/s41598-024-52089-1.

14. **Mabe L., Muthevhuli M., Thekisoe O., Suleman E. Accuracy of molecular diagnostic assays for detection of Mycobacterium bovis: A systematic review and meta-analysis.** *Preventive Veterinary Medicine*, 2024, vol. 226, art. 106190. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106190.

15. **Subramanian S., Srinivasan S., Selvaraju K.R., et al. Defined Antigen Skin Test for Bovine Tuberculosis Retains Specificity on Revaccination With Bacillus Calmette–Guérin.** *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, vol. 9, art. 814227. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.814227.

16. **Vicenzi J.M., Cerva C., Karam F.S.C., et al. Accuracy of inspection surveillance in detecting bovine tuberculosis during slaughter in Rio Grande do Sul.** *Veterinary Research Communications*, 2025, vol. 49, iss.4, art. 215. https://doi.org/10.1007/s11259-025-10787-9.

17. **Willgert K., Cliff M., Meinke S., Messina D. Burden of Bovine Tuberculosis on Animal Health, Welfare and Production: A Systematic Review.** *Transboundary and Emerging Diseases*, 2025, vol. 2025, art. 6541298. https://doi.org/10.1155/tbed/6541298.

18. **Gebremichael D. Epidemiological Trend Analysis of Bovine Tuberculosis and Its Public Health Impact in Ethiopia.** *Journal of Tropical Medicine*, 2025, vol. 2025, art. 2727632. https://doi.org/10.1155/jotm/2727632.

19. **Gumbo R., Lourens T., Cooke D.M., et al. Isolation of viable Mycobacterium bovis from faeces of naturally infected free-ranging rural domestic cattle (Bos taurus).** *Journal of Applied Microbiology*, 2025, vol. 136, iss.12, art. lxaf281. https://doi.org/10.1093/jambio/lxaf281.

20. **de Paula Castro J.F., de Souza G.O., Taniwaki S.A., Heinemann M.B., Ferreira Neto J.S. Comparison of qPCR methods for the diagnosis of bovine tuberculosis from granulomas collected at slaughterhouses.** *Brazilian Journal of Microbiology*, 2025, vol. 56, iss.4, pp. 3085–3091. https://doi.org/10.1007/s42770-025-01779-7.

21. **Aagaard C., Govaerts M., Meikle V., et al. Optimizing antigen cocktails for detection of Mycobacterium bovis in herds with different prevalences of bovine tuberculosis: ESAT6-CFP10 mixture shows optimal sensitivity and specificity.** *Journal of Clinical Microbiology*, 2006, vol. 44, iss.12, pp. 4326–4335. https://doi.org/10.1128/jcm.01184-06.

22. **de la Rua-Domenech R., Goodchild A.T., Vordermeier H.M., et al. Ante mortem diagnosis of tuberculosis in cattle: a review of the tuberculin tests, gamma-interferon assay and other ancillary diagnostic techniques.** *Research in Veterinary Science*, 2006, vol. 81, iss.2, pp. 190–210. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2005.11.005.

23. **Gormley E., Doyle M.B., Fitzsimons T., McGill K., Collins J.D. Diagnosis of Mycobacterium bovis infection in cattle by use of the gamma-interferon (Bovigam®) assay.** *Veterinary Microbiology*, 2006, vol. 112, iss.2–4, pp. 171–179. https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2005.11.029.

24. **Schiller I., Oesch B., Vordermeier H.M., et al. Bovine tuberculosis: a review of current and emerging diagnostic techniques in view of their relevance for disease control and eradication.** *Transboundary and Emerging Diseases*, 2010, vol. 57, iss.4, pp. 205–220. https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2010.01148.x.

25. **Schiller I., Vordermeier H.M., Waters W.R., et al. Comparison of tuberculin activity using the interferon-gamma assay for the diagnosis of bovine tuberculosis.** *Veterinary Record*, 2010, vol. 167, iss.9, pp. 322–326. https://doi.org/10.1136/vr.c3403.

26. **Maes M., Giménez J.F., D'Alessandro A., De Waard J.H. The stability of human, bovine and avian tuberculin purified protein derivative (PPD).** *Journal of Infection in Developing Countries*, 2011, vol. 5, iss.11, pp. 781–785. https://doi.org/10.3855/jidc.1689.

27. **Good M., Duignan A. Perspectives on the History of Bovine TB and the Role of Tuberculin in Bovine TB Eradication.** *Veterinary Medicine International*, 2011, vol. 2011, art. 410470. https://doi.org/10.4061/2011/410470.

28. **Good M., Clegg T.A., Costello E., More S.J. The comparative performance of the single intradermal test and the single intradermal comparative tuberculin test in Irish cattle, using tuberculin PPD combinations of differing potencies.** *The Veterinary Journal*, 2011, vol. 190, iss.2, pp. e60–e65. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.01.005.

29. **Parthasarathy S., Veerasami M., Appana G., et al. Use of ESAT-6-CFP-10 fusion protein in the bovine interferon-gamma ELISPOT assay for diagnosis of Mycobacterium bovis infection in cattle.** *Journal of Microbiological Methods*, 2012, vol. 90, iss.3, pp. 298–304. https://doi.org/10.1016/j.mimet.2012.06.001.

30. **Je S., Yeo U.C., Song T., Kim K.C., Park S.Y., Kim M.J., Cho S.N. Extent of Mycobacterium bovis infection in dairy cattle herds subject to partial culling as determined by an interferon-gamma assay.** *Journal of Veterinary Science*, 2014, vol. 15, iss.2, pp. 259–265. https://doi.org/10.4142/jvs.2014.15.2.259.

31. **Wood P.R., Corner L.A., Plackett P. Development of a simple, rapid in vitro cellular assay for bovine tuberculosis based on the production of gamma interferon.** *Research in Veterinary Science*, 1990, vol. 49, iss.1, pp. 46–49. PMID: 2116655.

32. **Buddle B.M., Parlane N.A., Keen D.L., et al. Differentiation between Mycobacterium bovis BCG-vaccinated and M. bovis-infected cattle by using recombinant mycobacterial antigens.** *Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology*, 1999, vol. 6, iss.1, pp. 1–5. https://doi.org/10.1128/cdli.6.1.1-5.1999.

33. **Pollock J.M., Girvin R.M., Lightbody K.A., Clements R.A., Neill S.D., Buddle B.M., Andersen P. Assessment of defined antigens for the diagnosis of bovine tuberculosis in skin test-reactor cattle.** *Veterinary Record*, 2000, vol. 146, iss.23, pp. 659–665. https://doi.org/10.1136/vr.146.23.659.

34. **Vordermeier H.M., Whelan A., Cockle P.J., et al. Use of synthetic peptides derived from the antigens ESAT-6 and CFP-10 for differential diagnosis of bovine tuberculosis in cattle.** *Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology*, 2001, vol. 8, iss.3, pp. 571–578. https://doi.org/10.1128/cdli.8.3.571-578.2001.

35. **Buddle B.M., Ryan T.J., Pollock J.M., Andersen P., de Lisle G.W. Use of ESAT-6 in the interferon-gamma test for diagnosis of bovine tuberculosis following skin testing.** *Veterinary Microbiology*, 2001, vol. 80, iss.1, pp. 37–46. https://doi.org/10.1016/s0378-1135(00)00375-8.

Жіберілген күні: 11 тамыз 2026 ж. **Қабылданған күні:** 20 тамыз 2026 ж.
Жарияланған күні: 30 қыркүйек 2026 ж.

Авторлар туралы мәліметтер:

Озатбекұлы Аманбек – 1 курс докторанты, ветеринария ғылымдарының магистрі,кіші ғылыми қызметкер, «БиоВет» ғылыми өндірістік орталығы ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050008, Алматы қ., Қарасай батыр көш 191 литер А, e-mail: ozatbekamanbek@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-0627-5680.*

Тургенбаев Қайрат Алтынбекұлы – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, бас ғылыми қызметкер, Ғылыми өндірістік орталығы «БиоВет» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050008, Алматы қ., Қарасай батыр көш 191 литер А, e-mail: biovet.kaz@mail.ru*, https://orcid.org / 0000-0002-0982-1863.*

Борсынбаева Асия Маденовна – PhD, аға ғылыми қызметкер, Ғылыми өндірістік орталығы «БиоВет» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050008, Алматы қ., Қарасай батыр көш 191 литер А, e-mail: asiajan@mail.ru*, https://orcid.org/0000 0002-2722-2020.*

Микниене Зоя – PhD докторы, доцент, Литва денсаулық ғылымдары университеті, LT44001, Каунас, Тильзес көш., 18, тел.: +37061029223, e-mail: zoja.mikniene@lsmuni.lt, https://orcid.org/0000-0001-5165-837X.

Озатбекулы Аманбек – докторант 1 курса, магистр ветеринарных наук, младший научный сотрудник, ТОО «Научно-производственный центр «БиоВет», Республика Казахстан, 050008, Алматы, ул. Карасай Батыра 191 литер А, e-mail: ozatbekamanbek@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-0627-5680.*

Тургенбаев Кайрат Алтынбекович – доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник, ТОО «Научно-производственный центр «БиоВет», Республика Казахстан, 050008, Алматы, ул. Карасай Батыра 191 литер А, e-mail: biovet.kaz@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-0982-1863.

Борсынбаева Асия Маденовна – PhD, старший научный сотрудник, ТОО «Научно-производственный центр «БиоВет», Республика Казахстан, 050008, Алматы, ул. Карасай Батыра 191 литер А, e-mail: asiajan@mail.ru, https://orcid.org/0000- 0002-2722-2020.

Микниене Зоя – ассоциированный профессор, доктор PhD, Литовский университет наук здоровья, Литва, LT44001, г. Каунас, ул. Тилзеса 18, тел.: +37061029223, e-mail: zoja.mikniene@lsmuni.lt, https://orcid.org/0000-0001-5165-837X.

Ozatbekuly Amanbek – 1 st-year PhD student, Master of Veterinary Sciences, Junior Researcher, BioVet Research Production Center LLP, Republic of Kazakhstan, 050008, Almaty, 191-A Karasay batyr Str., e-mail: ozatbekamanbek@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-0627-5680.*

Turgenbayev Kairat Altynbekovich – Doctor of Veterinary Science, Professor, Chief Researcher, BioVet Research Production Center LLP, Republic of Kazakhstan, 050008, Almaty, 191-A Karasay batyr Str., e-mail: biovet.kaz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-0982-1863.

Borsynbayeva Assiya Madenovna – PhD, Senior Researcher, BioVet Research Production Center LLP, Republic of Kazakhstan, 050008, Almaty, 191-A Karasay batyr Str., e-mail: asiajan@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2722-2020.

Mikniene Zoja – Associate Professor, PhD, Lithuanian University of Health Sciences, Lithuania, 03154, Kaunas, 18 Tilžės Str., tel.: +37061029223, e-mail: zoja.mikniene@lsmuni.lt, https://orcid.org/0000-0001-5165-837X.

МРНТИ 03.13.13
УДК 616.5:579.6
https://doi.org/10.52269/SEPT2631091

КЕРАТИНОФИЛЬНЫЕ ВОЗБУДИТЕЛИ МИКОЗОВ КОЖИ, ВЫДЕЛЕННЫЕ С ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА

Талғатқызы Н. – магистр естественных наук, докторант, научный сотрудник «Инжинирингового центра органических агротехнологий», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.*

Кухар Е.В. – доктор биологических наук, профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Шыныбаев К.М. – кандидат ветеринарных наук, ассоциированный профессор, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», г. Алматы, Республика Казахстан.

Кайыпбай Б.Б. – доктор ветеринарных наук, профессор, «Костанайская областная территориальная инспекция Комитета ветеринарного контроля и надзора МСХ РК, г. Костанай, Республика Казахстан.

В условиях Республики Казахстан микозы кожи сельскохозяйственных животных продолжают оставаться значимой ветеринарной проблемой, особенно в регионах с различными природно-климатическими условиями. Исследования, проведённые в Северном и Центральном Казахстане, указывают на распространённость микозов и значительное видовое разнообразие условно-патогенных грибов. В то же время, южные, засушливые регионы изучены недостаточно.

Целью настоящего исследования явилось изучение состава оппортунистических и классических возбудителей микозов кожи у сельскохозяйственных животных южных регионов Республики

Казахстана. Исследовано 349 проб биоматериала (шерсть и соскобы кожи) от сельскохозяйственных животных (крупного рогатого скота, овец, коз, лошадей и верблюдов) с целью выявления классических и оппортунистических возбудителей микозов кожи. Исследование проводилось в 2024-2025 гг. В результате выделено 63 изолята оппортунистических грибов, среди которых преобладали плесневые грибы (96,82%), дрожжи и дерматофиты составляли по 1,59%. Наибольшая частота выделения установлена у микромицетов рода Aspergillus (A. flavus – 33,33%, A. niger – 14,28%, A. corrugatus – 6,34%), Penicillium (P. commune – 11,11%) и Chaetomiaceae (Ch. fusisporum – 6,34%). Из общего числа оппортунистических грибов 11,7% проявили выраженную кератинофильную активность, 36% – слабую, а 52,3% не расщепляли кератин. Особенностью штамма T. mentagrophytes 8.30MPC, выделенного от овец, является высокая биохимическая активность по расщеплению сахаров и белков. Кератинофильной и кератинолитической активностью отличались также штаммы T.mentagrophytes, A.niger, P.chrysogenum, M.indicus, A.candidus, A.corrugatus, при этом тест на перфорацию волос подтвердил патогенные свойства у 14,3% кератинофильных изолятов. Полученные результаты свидетельствуют о высоком биоразнообразии оппортунистических микромицетов с кератинофильными и потенциально патогенными свойствами, что требует дальнейшего мониторинга с целью профилактики микозов кожи у сельскохозяйственных животных в засушливых регионах Казахстана.

Ключевые слова: *кератин, кератинофильные грибы, оппортунисты, микозы, дерматофиты.*

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІК ӨҢІРЛЕРІНЕН БӨЛІНГЕН ТЕРІ МИКОЗДАРЫНЫҢ КЕРАТИНОФИЛЬДІ ҚОЗДЫРҒЫШТАРЫ

Талғатқызы Н. – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, докторант, ғылыми қызметкері, «Органикалық агротехнологиялар инжиниринғтік орталығы», «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.*

Кухар Е.В. – биология ғылымдарының докторы, профессор, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Шыныбаев Қ.М – ветеринарлық ғылымдарының кандидаты, аға зерттеуші, қауымдастырылған профессор, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринарлық институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы.

Қайыпбай Б.Б. – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі Ветеринариялық бақылау және қадағалау комитетінің Қостанай облыстық аумақтық инспекциясы, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Қазақстан Республикасының жағдайында ауыл шаруашылығы жануарларының тері микоздары, әсіресе әртүрлі табиғи-климаттық жағдайлары бар өңірлерде маңызды ветеринариялық проблема болып қала береді. Солтүстік және Орталық Қазақстанда жүргізілген зерттеулер дерматомикоздардың тұрақты таралуын және шартты-патогенді саңырауқұлақтардың айтарлықтай түрлілігін көрсетеді. Сонымен қатар, Оңтүстік, құрғақ аймақтар жеткілікті зерттелмеген.

Осы зерттеудің мақсаты Қазақстан Республикасының оңтүстік өңірлеріндегі ауыл шаруашылығы жануарларындағы тері микоздарының оппортунистік және классикалық қоздырғыштарының құрамын зерделеу болды. Тері микоздарының классикалық және оппортунистік қоздырғыштарын анықтау мақсатында ауыл шаруашылығы жануарларынан (ірі қара, қой, ешкі, жылқы және түйе) 349 биоматериал сынамасы (жүн және тері жаралары) зерттелді. Зерттеу 2024-2025 жылдары жүргізілді. Нәтижесінде оппортунистік саңырауқұлақтардың 63 изоляты оқшауланды, олардың арасында зең саңырауқұлақтары басым болды (96,82%), ашытқы мен дерматофиттер 1,59% құрады. Бөліп алу барысында ең жоғары жиілікті Aspergillus (A. flavus – 33,33%, A. niger – 14,28%, A. corrugatus – 6,34%), Penicillium (P. commune – 11,11%) және Chaetomiaceae (Ch. fusisporum – 6,34%). Оппортунистік саңырауқұлақтардың жалпы санының 11,7% – ы айқын кератинофильді белсенділікті көрсетті, 36%-ы әлсіз, ал 52,3%-ы кератинді мүлдем ыдыратпады. Қой сынамасынан бөлінген T. Mentagrophytes 8.30MPC штаммының ерекшелігі – қанттар мен ақуыздарды ыдыратудағы жоғары биохимиялық белсенділік болып табылды. T. mentagrophytes, A. niger, P. chrysogenum, M. indicus, A. candidus, A. Corrugatus штаммдары да кератинофильді және кератинолитикалық белсенділікке ие болды, ал шаш перфорациясы тесті кератинофильді изоляттардың 14,3%-ында патогенді қасиеттердің бар екенін растады. Алынған нәтижелер оппортунисттік микромицеттердің кератинофильді және потенциалды патогенді қасиеттері жоғары биоәртүрлілігін көрсетеді, бұл құрғақ аймақтардағы ауыл шаруашылық жануарларының терісінің микоздарының алдын алу мақсатында әрі қарай мониторинг жүргізуді қажет етеді.

Түйінді сөздер: *кератин, кератинофильді саңырауқұлақтар, оппортунистер, микоздар, дерматофиттер.*

KERATINOPHILIC PATHOGENS OF SKIN MYCOSES ISOLATED FROM THE SOUTHERN REGIONS OF KAZAKHSTAN

Talgatkyzy N. – Master of Natural Sciences, PhD student, Researcher of the Engineering Center of Organic Agrotechnologies, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

Kukhar Ye.V. – Doctor of Biological Sciences, Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Shynybayev K.M. – Candidate of Veterinary Sciences, Associate professor, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Kaiypbay B.B. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kostanay Regional Territorial Inspection of the Committee for Veterinary Control and Supervision of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

In the Republic of Kazakhstan, skin mycoses of farm animals remain a significant veterinary problem, especially in regions with diverse natural and climatic conditions. Studies conducted in Northern and Central Kazakhstan indicate the persistent prevalence of mycoses and a considerable species diversity of potentially pathogenic fungi. At the same time, the southern arid regions have been insufficiently studied.

The aim of this study was to investigate the composition of opportunistic and classical causative agents of skin mycoses in farm animals in the southern regions of Kazakhstan. A total of 349 samples of biomaterial (hair and skin scrapings) from farm animals (cattle, sheep, goats, horses, and camels) were analyzed to identify classical and opportunistic skin mycosis pathogens. The study was conducted during 2024–2025. A total of 63 isolates of opportunistic fungi were obtained, among which molds predominated (96.82%), while yeasts and dermatophytes each accounted for 1.59%. The highest isolation frequency was observed for micromycetes of the Aspergillus genera (A. flavus – 33.33%, A. niger – 14.28%, A. corrugatus – 6.34%), Penicillium (P. commune – 11.11%), and the family Chaetomiaceae (Ch. fusisporum – 6.34%). Among all opportunistic fungi, 11.7% showed pronounced keratinophilic activity, 36% demonstrated weak activity, and 52.3% did not degrade keratin. The strain T. mentagrophytes 8.30MRS, isolated from sheep, exhibited high biochemically significant activity in sugar and protein degradation. Keratinophilic and keratinolytic activity was also noted in the strains T. mentagrophytes, A. niger, P. chrysogenum, M. indicus, A. candidus, and A. corrugatus, and the hair perforation test confirmed pathogenic properties in 14.3% of keratinophilic isolates.

These results indicate a high biodiversity of opportunistic micromycetes with keratinophilic and potentially pathogenic properties, highlighting the need for further monitoring to prevent skin mycoses in farm animals in arid regions of Kazakhstan.

Keywords: *keratin, keratinophilic fungi, opportunists, mycoses, dermatophytes.*

Введение

Грибковые инфекции были известны человечеству уже во времена глубокой древности, начало их изучения медиками относится к античной эпохе. Так, уже Гиппократу была известна молочница, Цельс описал инфильтративно-нагноительную трихофитию. К середине XIX века были описаны возбудители дерматомикозов, кандидоза, а к началу XX столетия – многих висцеральных и системных микозов. Шенлейн, Груби, Сабуро, Кастеллани заложили основы медицинской микологии как важной отрасли дерматологии и общей патологии инфекциями [1, с.16].

Микозы – поражения кожи, ногтей и волос, вызываемые патогенными и условно-патогенными грибами. Основным резервуаром антропонозных микозов является человек, зооантропонозных – больное животное. Спектр превалирующих возбудителей микозов разнообразен и подвержен изменениям. По разным оценкам, на долю микозов приходится от 37 до 42% от всех болезней кожи, они нередко ассоциируются с аллергодерматозами, вирусными и бактериальными инфекциями [2, с.34].

В настоящее время увеличение числа видов кожных заболеваний, связанных с грибковым поражением кожи и ее придатков, является одной из важнейших проблем в дерматологической практике. В связи с высокой заразностью дерматофитозов, проявлением токсико-аллергических реакций и выраженным субъективным эффектом, их возникновение и профилактика становится трудноразрешимой задачей медицинской и ветеринарной практики. Заболеваемость микозами кожи продолжает занимать одно из ведущих мест, не уступая по актуальности ни одному дерматозу [3, с.1].

Известно, что кроме классических кератинофилов, к которым относятся дерматофиты, существует множество кератинофильных видов экологически значимых грибов, которые могут использовать предварительно переваренные кератиновые остатки или побочные продукты деградации кератина [4, с. 77]. Кератинофильные грибы представляют собой группу грибов, которые живут на ороговевших естественных субстратах, таких как шерсть, копыта, перья, ногти, рога и внешний слой кожи, и расщепляют их на низкомолекулярные компоненты [5, с. 262., 6, с. 166].

Кератины – это семейство волокнистых структурных белков, которые относятся к группам склеропротеинов, содержащихся в перьях, шерсти, рогах, копытах, ногтях, когтях, клювах и шерсти животных [8, с. 126]. Благодаря прочности и стабильности кератина, очень немногие живые организмы способны

расщеплять и использовать его. К ним относятся некоторые насекомые, бактерии, актиномицеты и грибы [9, с. 1].

Кератин ороговевших остатков кожи и ее придатков в почве подвергается разложению сапрофитными микроорганизмами-биодеструкторами, синтезирующими фермент кератиназу, такими как *Chrysosporium* spp., *Pseudogymnoascus* spp., *Geomyces* spp., *Pectinotrichum* spp., *Renispora* spp. и ряд других. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Microsporum*, *Trichoderma* и *Chrysosporium* известны как наиболее распространенные кератинолитические грибы [10, с.2085]. Они, как правило, используют белки, пептиды и аминокислоты в качестве источника углерода даже в присутствии сахара; однако они также демонстрируют большое разнообразие в своем питании и физиологии [11, с. 97]. Широкий спектр животных (млекопитающие, рыбы, птицы и рептилии) вырабатывает различные виды кератина в качестве структурной части своей внешней защиты. [7, с. 126]. Считается, что различия в естественной среде обитания и предпочтениях хозяев сыграли значительную роль в определении глобального распространения кератинофильных грибов и родственных им дерматофитов [12].

В последнее время участились случаи выявления грибов родов *Aspergillus*, *Alternaria*, *Chaetomium, Phoma*, *Penicillium*, *Cladosporium, Candida* и других представителей плесневых грибов и дрожжей с пораженных участков кожи домашних животных [13, с. 58, 14, с. 10].

Успешное развитие животноводства в Казахстане напрямую связано со здоровьем животных. Одним из показателей здорового организма является ровный кожный покров, гладкая и блестящая шерсть, отсутствие поражений, перхоти, алопеций, очагов воспаления и других признаков, указывающих на нарушение обменных процессов, инфекционной или паразитарной патологии. В северных и центральных регионах Казахстана выявлены различные возбудители плесневых микозов кожи животных. Среди них, 9,5% изолятов обладали выраженными кератинофильными свойствами, 21,8% показали среднюю кератинофильную активность, остальные 68,7% слабую кератинофильную активность [Байлина Г.Е., Кухар Е.В., Турсункулов С.А., Исмуканова Г.Ж., Аубакиров М.Ж. Возбудители плесневых микозов кожи животных, циркулирующие в северных и центральных регионах Казахстана // Вестник ЗКАТУ им. Жангир Хана. – Уральск, 2025. – №3. – С. 223-237].

Жаркая погода и низкая влажность, наличие пыльно-загрязненного воздуха на территории южных регионов Республики Казахстан создают благоприятные условия, способствуют локализации и паразитированию классических дерматофитов и оппортунистических кератинофильных патогенов кожи, что приводит к кожным заболеваниям сельскохозяйственных животных.

Цель исследования – выявление и характеристика кератинофильных грибов, выделенных из образцов биоматериала сельскохозяйственных животных, отобранных на территории Южного Казахстана.

Работа проводилась в рамках проекта AP23489001 «Генетический мониторинг и анализ патогенности новых возбудителей оппортунистических микозов сельскохозяйственных животных в Казахстане» в 2024-2026 гг.

Задачи:

1. Изучить наличие и распространённость классических и оппортунистических возбудителей микозов кожи у сельскохозяйственных животных южного региона Республики Казахстан на основе микологического анализа проб шерсти и соскобов кожи.

2. Определить видовой состав и структуру оппортунистических микромицетов, выделенных от сельскохозяйственных животных, с оценкой доминирующих таксонов.

3. Оценить кератинофильную активность выделенных изолятов оппортунистических грибов и установить их способность у расщеплению кератина.

4. Исследовать биохимическую активность наиболее значимых штаммов микромицетов с использованием тестов на расщепление углеводов и белков.

5. Определить патогенные свойства выделенных кератинофильных микромицетов с помощью теста на перфорацию волос и оценить их потенциальную патогенетическую значимость.

Материалы и методы

Объектом исследования является шерсть и соскобы кожи сельскохозяйственных животных (крупного (КРС) и мелкого рогатого скота (МРС), лошадей (Л), верблюдов (В) и коз (К)) в количестве – 342 пробы, отобранных в южных регионах Республики Казахстан. Из них, по Жамбылской области – 54, Кызылординской – 26, Алматинской – 17, Южно-Казахстанской – 250, Туркестанской – 2 образца. Все пробы из каждой области южного региона были закодированы нами с присвоением соответствующего числового значения: Жамбылская область – 8, Кызылординская область – 11, Алматинская область – 2, Южно-Казахстанская область – 17, Туркестанская область – 13. Этот номер присваивался в дальнейшем каждой пробе.

Для выявления и характеристики изолятов использовались следующие методы: культивирование на плотных средах, метод прямой микроскопии, определение биохимической активности, тест на перфорацию волос.

Питательные среды Сабуро для первичного выделения культуры микромицетов, дрожжевой экстракт для проведения теста на перфорацию и среды Гисса для изучения сахаролитической активности, желатиназу, пептонную воду готовили по инструкции завода-изготовителя.

Питательные среды готовили в соответствии с действующими методическими рекомендациями и разливали в стерильных условиях в чашки Петри [16, с. 33]. Стерилизацию питательных сред осуществляли автоклавированием по стандартным режимам.

Для перичного выделения возбудителей микозов кожи образцы биоматериала (шерсть и соскобы кожи) предварительно обрабатывали 70%-ным этиловым спиртом, после чего высевали на поверхности питательных сред по 5-6 волосков или чешуек кожи. Посевы инкубировали при температуре (24 ± 1) °С на 5 суток [18, с. 9].

Прямую микроскопию изолятов и чистой культуры проводили методом световой микроскопии при увеличении ×40, ×100.

Кератинофильные свойства микромицетов изучали на модифицированном агаре Сабуро с добавлением 2% кератина волос [19, с. 57]. Кератинолитическую активность определяли с использованием теста на перфорацию волос in vitro по Айелло и Джорджу с последующим микроскопическим контролем в течение 20 суток [20, с. 657].

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы «Microsoft Office Excel» 2010.

Результаты

Результаты первичного выделения кератинофильных грибов из проб биоматериала представлены на рисунке 1.

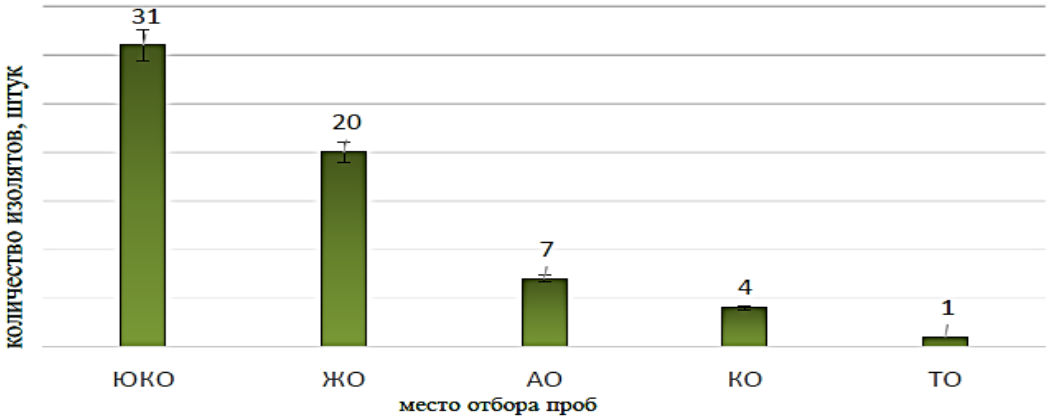


Рисунок 1 – Количество кератинофильных возбудителей, выделенных с южных регионов Казахстана (ЮКО – Южно-Казахстанская, ЖО – Жамбылская, АО – Алматинская, КО Кызылординская, ТО – Туркестанская область)

Как видно по рисунку 1, из 250 образцов сельскохозяйственных животных Шымкентской области выявлен 31 изолят: рода *Aspergillus (A. flavus, A. candidus, A. niger, A. versicolor*), *Chaetomium fusisporum, Cystobasidium siooffiae, Penicillium chrysogenum),* из 54 образцов Жамбылской области – 20 изолятов (*A. flavus, A. oryzae, A. nidulans, A. fumigatus, C. fusisporum, P. commune, Trichophyton mentagrophytes*), из 17 образцов из Алматинской области – 7 изолятов (*A. flavus, , Candida albicans, Fusarium spp., Penicillium commune*), из 2 образцов Туркестанской области – 1 изолят (*A. flavus*), из 26 образцов Кызылординской области – 4 изолята микромицетов (*Aspergillus fumigatus, Mucor indicus*, *Cladosporium kenpeggii*).

Количественный анализ потенциальных возбудителей микозов кожи, выделенных в разрезе областей южного региона РК, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Родовой состав изолятов, выделенных из образцов по южному региону РК

Область	*Aspergillus spp.*	*Trichophyton spp.*	*Cystobasidium spp.*	*Chaetomium spp.*	*Fusarium spp.*	*Penicillium spp.*	*Mucor spp.*	*Cladosporium spp*	*Candida spp.*
Южно-Казахстанская (далее – ЮКО)	26		1	2		2			
Жамбылская (ЖО)	12	1		2		5			
Алматинская (АО)	3				1	2			1
Кызылординская (КО)	2						1	1	
Туркестанская (ТО)	1								
Всего:	**44**	**1**	**1**	**4**	**1**	**9**	**1**	**1**	**1**

Как видно из таблицы, среди выделенных изолятов преобладали грибы рода *Aspergillus*.

Результаты видовой идентификации потенциальных возбудителей микозов кожи методом золотого стандарта диагностики представлены на рисунке 2.

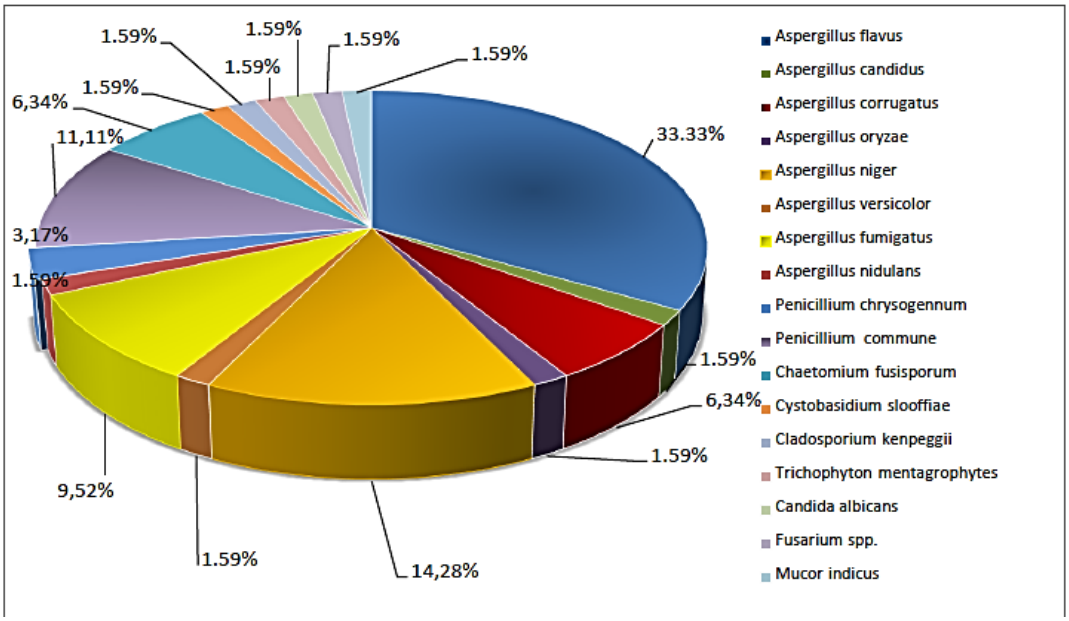


Рисунок 2 – Спектр выделенных возбудителей микозов кожи от животных южных регионов Казахстана

Как видно по рисунку 2, минимальный показатель количества выделения изолятов составлял 1,59%, максимальный – 33,33%. Микроорганизмы с наименьшим числом выделений (1,59%) – *Aspergillus candidus, Aspergillus oryzae, Aspergillus versicolor, Aspergillus nidulans, Cystobasidium slooffiae, Cladosporium kenpeggii, Trichophyton mentagrophytes, Candida albicans, Fusarium spp., Mucor indicus.* Самый высокий показатель был у микромицетов рода *Aspergillus* (*A. flavus* – 33,33%, *A. niger* – 14,28%, *A. fumigatus* – *9,52*%, *A. corrugatus* – 6,34%), рода пеницилл (*P. commune* – 11,11%, *Penicillium chrysogenum* – 3,17%) и грибов семейства *Chaetomiaceae* (*Ch. fusisporum* – 6,34%).

Для выявления кератинофильных грибов из общего числа выделенных патогенов, сравнивали характер роста и диаметр колоний каждого изолята на модифицированной обогащенной кератином среде Сабуро и обычной глюкозной среде Сабуро. На рисунке обозначены штаммы: №17.16Л – *Ch. fusisporum*, №17.46Л – *C. slooffiae*, №17.2КРС – *A. flavus*, №17.13К – *P. chrysogennum*, №17.15К – *A. niger*, №8.30МРС – *T. mentagrophytes*, №17.30К – *A. candidus*, №11.2МРС – *M. indicus*, №17.25В – *A. corrugatus*, №8.13МРС – *P. commune*, №13.1К – *Cl. kenpeggii*, №17.3КРС – *A. versicolor*, №8.16МРС – *A. nidulans,* №2.2ЛАМА – *C. albicans* (рисунок 3)

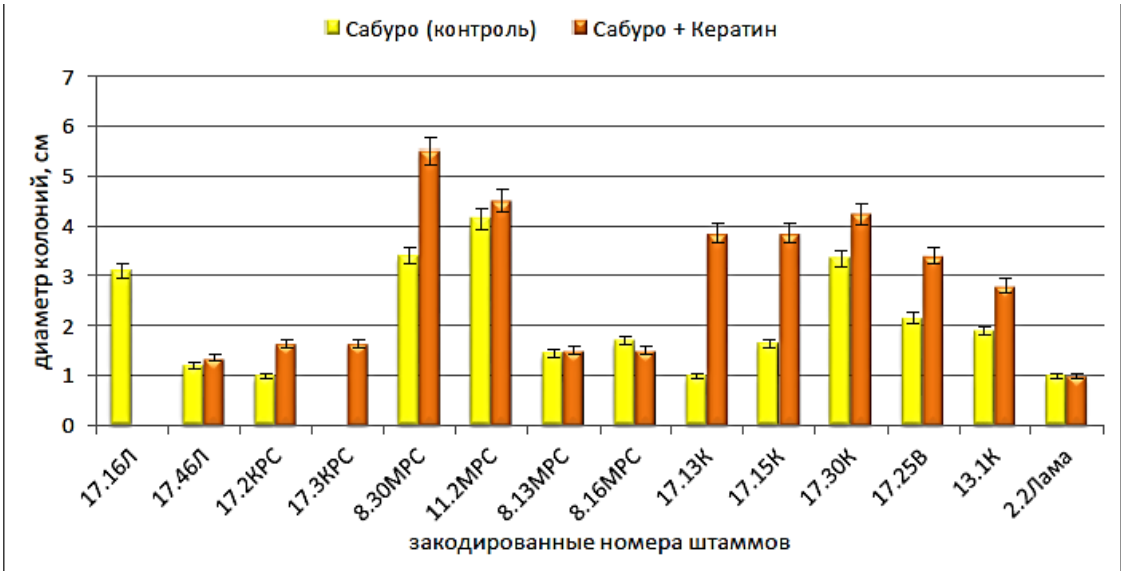


Рисунок 3 – Влияние наличия кератина на активность роста
и диаметр колоний штаммов кератинофильных грибов

Как видно по рисунку 3, рост культуры штамма *C. fusisporum* №17.16Л на обогащенно кератином среде Сабуро отсутствовал, что говорит о полном подавлении кератином роста штамма. Диаметр культуры штамма *A. nidulans* №8.16МРС на модифицированной среде Сабуро был меньшим, чем на классическом агаре Сабуро, что свидетельствует об ингибирующем эффекте кератина. Штамм №2.2ЛАМА *(C. albicans)* имел одинаковый диаметр на модифицированной среде по сравнению с контролем, что является свидетельством того, что кератин не оказывал никакого эффекта на рост грибов, хотя и не подавлял его. Для штамма №17.3КРС *(A. versicolor)* именно наличие кератина в питательном субстрате явилось основным фактором для роста и формирования колонии по сравнению с составом стандартной среды Сабуро, где роста не было. На рост культур №17.46Л *C. slooffiae* (0,15 см), №11.2МРС *M. indicus* (0,35 см) и №8.13МРС *P. commune* (0,5 см) кератин практически не оказывал стимулирующего эффекта.

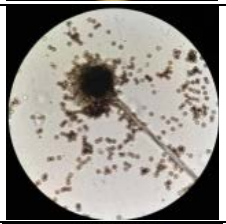
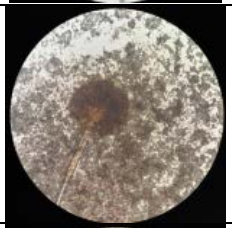
Диаметр колоний на среде с кератином был на 0,15-0,5 см больше, чем в контроле, при разнице среднего диаметра M±m, равного 0,33±0,12 см, что не может служить достоверным показателем лучшей активности роста штаммов. Остальные штаммы отличались наличием кератинофильных свойств с различной степенью активности накопления биомассы:

- с низкой кератинофильной активностью при разнице в размере диаметра до 1,0 см: штамм №17.2КРС *A. flavus* (0,65 см), штамм №17.30К *A. candidus* (0,9 см), штамм №13.1К *C. kenpeggii* (0,9 см);
- со средней кератинофильной активностью при разнице в размере диаметра до 2,0 см: штамм №17.25В *A. corrugatus* (1,25 см);
- с высокой кератинофильной активностью при разнице в размере диаметра до 3,0 см: штамм *T. mentagrophytes* №8.30МРС (2,10 см), штамм *A. niger* №17.15К (2,20 см), *P. chrysogennum* №17.13К (2,85 см).

Анализ выделения оппортунистических возбудителей с кератинофильными свойствами от разных видов животных позволил установить, что наиболее активными кератинофилами были штаммы, выделенные от коз <овец<крупного рогатого скота<верблюдов<лошадей.

Проведенная в дальнейшем культурально-морфологическая и микроскопическая характеристика 7-ми штаммов с высокой кератинофильной активностью позволила установить наличие характерных морфологических признаков и идентифицировать кератинофильные грибы, выделенные от животных (таблица 2).

Таблица 2 – Данные по культурально-морфологической идентификации кератинофильных возбудителей микозов кожи

Культуры	Лицевая сторона колонии	Обратная сторона колонии	Микроскопия
T.mentagrophytes №8.30МРС			
A. niger №17.15К			
A.candidus №17.30К			
A. corrugatus №17.25В			

Продолжение таблицы 2

M. indicus №11.2МРС			
Cl. kenpeggii №13.1К			
P. chrysogennum №17.13К			

Как видно из таблицы 2, чистые культуры имели типичную макроморфологию и характерные микроскопические структуры.

Биохимический анализ позволил подтвердить высокую сахаролитическую активность кератинофильных возбудителей (рисунок 4).

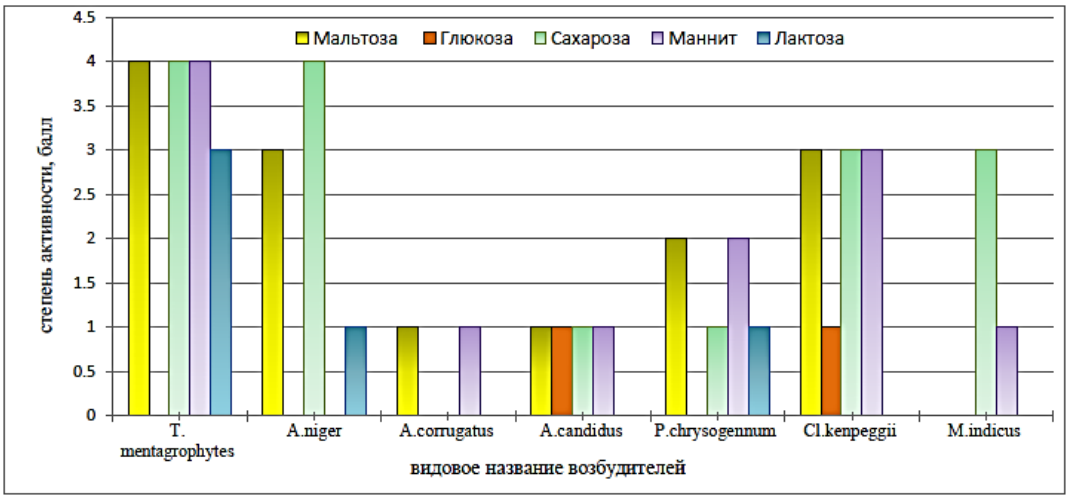


Рисунок 4 – Сахаролитическая активность кератинофильных возбудителей микоза кожи сельскохозяйственных животных

Согласно данным, приведенным на рисунке 4, активность штаммов по усвоению сахаров варьировала. Так, глюкозу не усваивали большинство штаммов (71,4%), лишь *C. kenpeggii* показал слабую активность (1 балл из 4), а *T. mentagrophytes* и *A. niger* полностью её не усваивали (0 баллов). Лактозу усваивали с разной интенсивностью: *T. mentagrophytes* – 3 балла (выраженная активность), *A. niger* – 1 балл (низкая активность), остальные штаммы не использовали лактозу (0 баллов). Наибольшая активность наблюдалась в отношении сахарозы, мальтозы и маннита: *T. Mentagrophytes* – по 4 балла, *A. niger* – сахароза 4, мальтоза 3, маннит 0, *M. Indicus- сахароза 3,* мальтоза 0, маннит 1*, C. Kenpeggii-* 3 балла по всем трём сахарам. Наименее активными по всем сахарам были штаммы *A. corrugatus и A. candidus* (0-1 балл).

Таким образом, 85,7% штаммов проявляли высокую активность по усвоению сахарозы, маннита и мальтозы, а активность по глюкозе и лактозе была выражена лишь у отдельных штаммов.

Была подтверждена высокая протеолитическая активность кератинофильных возбудителей (рисунок 5, 6).

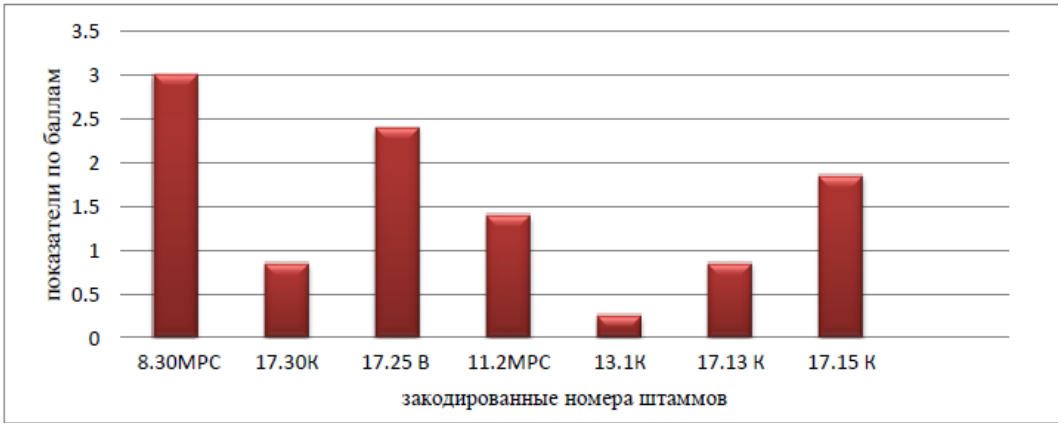


Рисунок 5 – Казеинолитическая активность кератинофильных возбудителей микозов кожи сельскохозяйственных животных

Согласно результатам, представленным на рисунке 5, культуры *Cl. Kenpeggii* №13.1К, *A. candidus* 17.30К и №17.13К обладают низкой казеиновой активностью, штаммы *A. corrugatus* 17.25В, *M. Indicus* 11.2МРС, *A. niger* 17.15К – средне выраженной казеиновой активностью. У штамма *T.mentagrophytes* 8.30МРС казеинолитическая активность выше, чем у всех других штаммов.

Степень расщепления животных белков: пептона, гемоглобина и желатина, кератинофильными возбудителями показана на рисунке 6.



Рисунок 6 – Степень расщепления белков кератинофильными возбудителями микозов кожи сельскохозяйственных животных

Как видно по рисунку 6, все культуры обладают способностью расщепления животных белков, но с разной активностью. Все грибы расщепляют желатин и гемоглобин, но активность штаммов *T. mentagrophytes* 8.30МРС, *M. indicus* 11.2МРС, *A. corrugatus* 17.25В в 2 раза выше, чем у других штаммов при расщеплении желатина и на 1,1-2,15 раза выше при расщеплении гемоглобина. Культуры *A. candidus* №17.30К и *kenpeggii* 13.1К *C.* не усваивали пептон.

При проведении теста на перфорацию волос было установлено наличие кератинолитических свойств у некоторых оппортунистических возбудителей (рисунок 7).

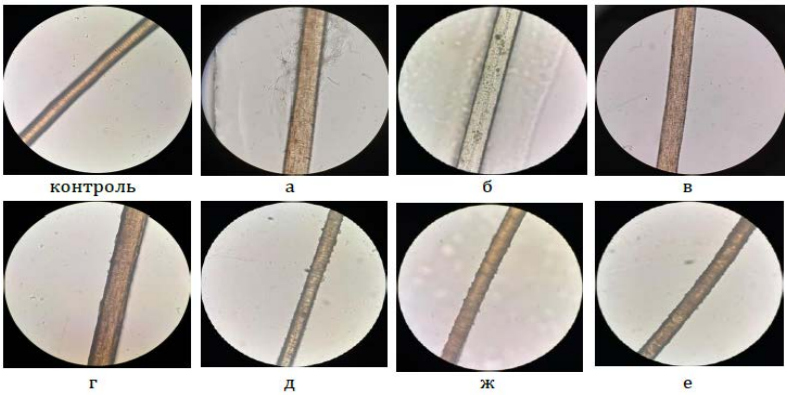


Рисунок 7 – Результаты теста на перфорацию волос кератинофильными грибами: а – 8.30МРС, б – 17.25В, в – 17.30К, г – 17.15К, д – 17.13К, ж – 11.2МРС, е – 13.1К

Исследование показало, что почти все патогены повреждают внешний и внутренний слой волос. Микроскопией выявлено изменение внешнего состояния и внутреннего строения волос, наличие наружной эрозии кутикулы волоса, местами – проникновение мицелия и скопление спор во внутренней полости волос. Воздействие всех кератинофильных штаммов привело к появлению шероховатостей и неровностей, нарушений целостности оболочки волоса. Зафиксирован рост мицелия грибов на волосах с образованием сплошного накопления биомассы или редкого одиночного гифального роста с ветвлением.

Обсуждение

Кератинофильные грибы являются экологически важной группой грибов, которые расщепляют кератин и продукты его распада во внешней среде. При этом [21, с. 14] считает, что также кератинофильные грибы имеют медицинское и ветеринарное значение, вызывая патологию кожи у животных и человека. За последние годы многие исследователи сообщали о выделении кератинофильных грибов из почвы, шерсти животных, перьев птиц и иного биоматериала [22, с. 480., 23, с. 646].

При анализе шерсти, соскобов кожи от крупного и мелкого рогатого скота, лошадей, верблюдов в количестве 349 проб было выделено 63 изолята – потенциальных возбудителей микозов кожи. Спектр возбудителей включал в себя 9 родов дерматофитных грибов, в том числе, плесневые грибы: *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Chaetomium* spp., *Cystobasidium* spp., *Fusarium* spp., *Mucor* spp., *Cladosporium* spp.; дерматофиты – *Trichophyton* spp., *дрожжи – Candida* spp. Самый высокий показатель выделения условно патогенных возбудителей из кератиносодержащего материала был у плесневых грибов рода *Aspergillus* (69,84%), рода *Penicillium* (14,28%), рода *Chaetomiaceae* (6,34%). Дерматомицеты рода *Trichophyton* spp. и дрожжи рода *Candida* spp. выделены по 1,59% в каждом случае.

Наши данные согласуются с работами других микологов, которые утверждают, что число выделения плесневых грибов возрастает, особенно *Aspergillus* spp. [13, с. 58., 14, с. 10., 24, с. 293]. Jangid R. с соавт. (2018) в своей работе, установил частоту встречаемости кератинофильных грибов в Индии: *Aspergillus niger* (66,67%), *Chrysosporium* sp. (50%), *Trichophyton tonsurans* (33,33%) доминируют и в минимальном количестве *T. mentagrophytes* (8,33%), *Microsporum canis* (25%), *M. gypseum* (16,67%), *T. equinum* (25%), *T. rubrum* (16,67%) [24, с. 293]. Частота выделения *Aspergillus niger* в нашем случае составила 14,28%. Зато преобладающим видом был другой представитель аспергиллов – *A. flavus* с 33,33% частотой выделения из биоматериала сельскохозяйственных животных.

Согласно исследованиям Kunert J Mitola G., наличие кератинолитической активности свойственно многим природным штаммам, что весьма важно с экологической точки зрения, так как естественная среда очищается от остатков кератиносодержащих тканей павших животных и птиц. Изучение кератинофильных свойств у выделенных нами изолятов показало, что из общего количества всех выделенных микромицетов – 47,7% изолятов обладали кератинофильными свойствами, остальные изоляты не имели кератинофильных свойств. При этом, из общего числа кератинофилов 11,7% изолятов имели ярко выраженные, 36% – слабо выраженные кератинофильные свойства. Анализ активности кератинофильных изолятов в зависимости от вида животного, от которого они были выделены показал, что большей активностью отличались штаммы, выделенные от коз, наименьшей – изоляты, выделенные от лошадей. То есть распределение изолятов по снижению кератинолитической активности в зависимости от вида животного выглядело так: козы > овцы > крупный рогатый скот > верблюды > лошади.

Различными авторами, как наиболее распространенные кератинолитические грибы назывались роды *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Microsporum*, *Trichoderma* и *Chrysosporium* [10, с. 2091]. Активными кератинофилами, встречающимися в южных регионах Казахстана, оказались грибы родов *Aspergillus* и *Penicillium*, а именно *Aspergillus candidus, A. niger, A. corrugatus, Penicillium chrysogenum*.

Анализ биохимической активности штаммов с выраженной кератинофильной активностью, показал, что у них также выражена сахаролитическая и протеолитическая активность. Выявлено, что они весьма активны в расщеплении сахаров (сахароза, мальтоза, глюкоза, лактоза, маннит) и других белков, кроме кератина (пептон, казеин, гемоглобин, желатин). Такая биохимическая активность носит патогенетически значимый характер, поскольку обеспечивает использование тканевых субстратов хозяина.

Сахаролитическая активность штаммов ярче выражена в отношении сахарозы, мальтозы и маннита. Распределение сахаров по снижению активности соответствующих ферментов вне зависимости от вида микромицета выглядело так: сахароза > мальтоза > маннит > лактоза > глюкоза.

Протеолитическая активность изолятов с учетом снижения активности соответствующих ферментов вне зависимости от вида микромицета в отношении различных животных белков представлена в следующей последовательности: желатин > гемоглобин > пептон > казеин.

Высокая кератинофильная активность изученных штаммов говорит о их потенциальной возможности вызывать патологию кожи и ее придатков у сельскохозяйственных животных и человека. Кератинофильные свойства были подтверждены, в тесте на перфорацию волос, среди них штамм *T. Mentagrophytes* показал формирование классических колышков. Остальные штаммы тоже росли на волосах, вызывали повреждения в виде расплавления волос, но характерных хорошо видимых повреждений в виде колышков не образовывали.

Наиболее высокий показатель биохимической активности выявлен у штамма *T. mentagrophytes* №8.30МРС, который имел выраженную, патогенетически значимую, биохимическую активность, что

согласуются с работами других авторов [24, с. 295]. Считается, что это обусловлено тем, что он является классическим кератинофильным геофильным грибом, хорошо приспособленным к биодеструкции кератина и его производных во внешней среде и к паразитированию на коже млекопитающих и человека.

Наименее активными, из всех оппортунистических возбудителей, выделенных нами от животных и взятых в исследование как явные кератинофилы, оказались *Cl. kenpeggii* №13.1К, *A. candidus* №17.30К, *P. chrysogennum* №17.13К, *A. corrugatus* 17.25В, *M. indicus* 11.2МРС и *A. niger* 17.15К.

Таким образом, в процессе выделения классических дерматофитов из биоматериала сельскохозяйственных животных южного региона Республики Казахстан были идентифицированы оппортунистические кератинофильные грибы с высокой сахаролитической, протеолитической активностью и возможностью поражать шерсть животных. Полученные результаты свидетельствуют о появлении новых вызовов и необходимости проведения дальнейших исследований.

Заключение

Полученные данные расширяют представления о микробиоте кожи сельскохозяйственных животных в условиях засушливого климата и могут быть использованы при разработке профилактических мероприятий по снижению распространённости микозов.

1. Проанализировано 349 проб биоматериала шерсти и соскобов кожи, отобранного от крупного рогатого скота, овец, коз, лошадей и верблюдов с южных регионов Республики Казахстан, на наличие классических и оппортунистических возбудителей микозов кожи.

2. Выделено 63 изолята оппортунистических грибов, в том числе плесени – 96,82%, дрожжи – 1,59%, дерматофиты – 1,59%. Самый высокий показатель выделения – у микромицетов рода *Aspergillus* (*A. flavus* – 33,33%, *A. niger* – 14,28%, *A. corrugatus* – 6,34%), рода *Penicillium* (*P. commune* – 11,11%) и грибов семейства *Chaetomiaceae* (*Ch. fusisporum* – 6,34%).

3. Из общего числа изолятов оппортунистических грибов 11,7% обладают выраженными кератинофильными свойствами, 36% показали слабую кератинофильную активность, остальные 52,3% кератин не расщепляли.

4. Штамм *T. mentagrophytes* 8.30МРС, выделенный от овец, имел выраженную биохимическую активность, расщепляя сахара – мальтозу, сахарозу, маннит и лактозу, и белки – кератин, казеин, желатин, гемоглобин и пептон.

5. Выраженной кератинофильной и кератинолитической активностью отличались штаммы изолятов *T. mentagrophytes, A. niger*, *P. chrysogennum, M. indicus, A. candidus, A. corrugatus*. Результаты теста на перфорацию волос потверждают наличие патогенных свойств у 14.3% кератинофилов.

Финансирование

Исследование профинансировано в рамках гранта МНВО РК AP23489001 (2024-2026 г.).

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам фермерских хозяйств, ветеринарным специалистам, магистрантам Несипбаевой А.Е., Кайратовой З.Г. за оказанную помощь при организации отбора проб от животных, проведении клинических и лабораторных исследований, видовой идентификации условно-патогенных возбудителей.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Рукавишникова В.М**. **Современные особенности клиники и лечения микроспории** [Текст] / В.М. Рукавишникова // Лечащий врач. – 2001. – № 4. – С. 16–18.

2. **Герасимова Н.М. Тербинафин в лечении грибковых заболеваний кожи** [Текст] / Н.М.Герасимова, Т.М. Бодумян // ВДВ. Актуальные вопросы современности. – 2006. – №6. – С. 34–37.

3. **Халдин А.А., Современные представления о паховых дерматофитиях: этиология, эпидемиология, клиника и эффективная терапия** [Текст] / А.А. Халдин, В.Ю. Сергеев, И.М. Изюмова // Российский журнал кожных и венерических болезней. – 2005. – №5. – С. 1–8.

4. **Kunert J. Physiology of keratinophilic fungi** [Text] / J.Kunert // Biology of Dermatophytes and Other Keratinophilic Fungi / ed. R.K.S. Kushwaha, J. Guarro. – Bilbao: Revista Iberoamericana de Micología, 2000. – P. 77–85.

5. **Gurung S.K., Adhikari M., Kim S.W., et al. Discovery of two Chrysosporium species with keratinolytic activity from field soil in Korea** [Text] / S.K.Gurung , M. Adhikari, S.W. Kim **//** Mycobiology, – 2018. – Vol. 46. – No. 3. – P. 260–268. – DOI:10.1080/12298093.2018.1514732.

6. **Mitola G., Escalona F., Salas R., García E., Ledesma A. Morphological characterization of in-vitro human hair keratinolysis, produced by identified wild strains of Chrysosporium species** [Text] / G. Mitola, F. Escalona, R. Salas, E. García, A. Ledesma // Mycopathologia. – 2002. – Vol.156. – No 3. – P. 163–169. – DOI: 10.1023/a:1023340826584.

7. **McKittrick J., Chen P.Y., Bodde S.G., Yang W., Novitskaya E.E., Meyers M.A**. **The structure, functions, and mechanical properties of keratin** [Text] / J. McKittrick, P.Y. Chen, S.G. Bodde, W. Yang, E.E. Novitskaya, M.A. Meyers // JOM. – 2012. – Vol. 64. – P. 449–468. – DOI:10.1007/s11837-012-0302-8.

8. **Cox M., Nelson D. Lehninger Principles of Biochemistry** [Text] / M. Cox, D. Nelson // **–** 4th ed. – New York: W.H. Freeman, 2000. – Vol.1. – P. 126–127.

9. **Onifade A.A., Al-Sane N.A., Al-Musallam A.A., Al-Zarban S. Potentials for biotechnological applications of keratin degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources** [Text] / A.A. Onifade, N.A. Al-Sane, A.A. Al-Musallam, S. Al-Zarban // Bioresour Technology. – 1998. – Vol.66. – P. 1–11.

10. **Lange L., Huang Y., Busk P.K. Microbial decomposition of keratin in nature – a new hypothesis of industrial relevance** [Text] / L. Lange, Y. Huang, P.K. Busk // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2016. – Vol.100. – No. 5. – P. 2083–2096. – DOI: 10.1007/s00253-015-7262-1.

11. **Kumar J., Kumar P., Kushwaha R.K.S. Significance of keratinophiles in biofertilizer development from keratinous waste: upcoming perspective** [Text] / J. Kumar, P. Kumar, R.K.S. Kushwaha // Biofertilizers. Advances in Bio-Inoculants. – 2021. – Vol.1. – P. 95–101. – DOI: 10.1016/B978-0-12-821667-5.00006-3.

12. **Bennett A., Ponder M.M., Garcia-Diaz J. Phoma infections: classification, potential food sources, and its clinical impact** [Text] / A. Bennett, M.M. Ponder, J, Garcia-Diaz **//** Microorganisms. – 2018. – Vol. 6. – No. 3. – Article 58.

13. **Kidd S.E., Weldhagen G.F. Diagnosis of dermatophytes: from microscopy to direct PCR** [Text] / S.E. Kidd, G.F. Weldhagen // Microbiology Australia, – 2022. – Vol. 43. – P. 9–13. – DOI:10.1071/MA22005.

14. **Елинов Н.П., Васильева Н.В., Разнатовский К.И. Дерматомикозы или поверхностные микозы кожи и её придатков – волос и ногтей** [Текст] / Н.П. Елинов, Н.В. Васильева, К.И. Разнатовский // Лабораторная диагностика. Проблемы медицинской микологии. – 2018; – Т.10. – № 1. – С. 33.

15. **Gupta R., Ramnani P. Microbial keratinases and their perspective applications: an overview** [Text] / **R. Gupta, P. Ramnani P.** // Applied Microbiol Biotechnology, – 2006. – Vol. 70. – No. 1. – P. 1–13. – DOI:10.1007/s00253-005-0239-8.

16. **Пупкова М.А. Определение кератинолитической активности некоторых микромицетов** [Текст] / М. А. Пупкова // Проблемы медицинской микологии. – 2010; – Т.12. № 2. – С. 57.

17. **Dubljanin E., Zunic J., Vujcic I., Colovic Calovski I., Sipetic Grujicic S., Mijatovic S.** Host-**Pathogen Interaction and Resistance Mechanisms in Dermatophytes, Pathogens** [Text] / E. Dubljanin, J. Zunic, I. Vujcic, I. Colovic Calovski, S. Sipetic Grujicic, S. Mijatovic // Pathogens. – 2024. – Vol.13. – No. 8. – P. 657. – DOI:10.3390/pathogens13080657.

18. **Deng R., Wang X., Li R. Dermatophyte infection: from fungal pathogenicity to host immune responses** [Text] / **R. Deng, X. Wang, R. Li** // Frontiers Immunology, – 2023. – Vol.14. – Article. 1285887. – DOI: 10.3389/fimmu.2023.1285887.

19. **Celestrino G.A., Verrinder Veasey J., Benard G., Sousa M.G.T. Host immune responses in dermatophytes infection** [Text] / G.A. Celestrino, J. Veasey Verrinder, G. Benard, M.G.T. Sousa **//** Mycoses. – 2021. – Vol.64. – No. 5. – P. 477-483. – DOI:10.1111/myc.13246.

20. **Jangid R., Begum T. Isolation and Identification of Keratinophilic Fungi from Soil Samples of Different Animal Habitat of Ajmer District, India** [Text] / T. Begum, R. Jangid **//** International Journal of Pure and Applied Bioscience. – 2018. – Vol.6. – No.2. – P. 646–652. – DOI:10.18782/2320-7051.6344.

21. **Mahmoud A.L. Dermatophytes and other keratinophilic fungi causing ringworm of horses** [Text] / A.L. Mahmoud // Folia Microbiologica. – 1995. – Vol.40. – No.3. – P. 293–296. – DOI:10.1007/BF02814211.

22. **Овчинников Р.С., Маноян М.Г., Панин А.Н. Эмерджентные грибковые инфекции животных: новые виды возбудителей** / Р.С. Овчинников , М.Г. Маноян, А.Н. Панин // VetPharma. – [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/emerdzhentnye-gribkovye-infektsii-zhivotnyh-novye-vidy-vozbuditeley.

23. **Микробиология пищевых продуктов, кормов для животных и воды. Приготовление, производство, хранение и определение рабочих характеристик питательных сред** [Текст]: ГОСТ ISO 11133-2016. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016.

24. **Молоко и молочная продукция. Определение дрожжей и плесневых грибов** [Текст]: ГОСТ 33566-2015. -Введ. 2016-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016.

REFERENCES

1. **Rukavishnikova V.M. Sovremenny'e osobennosti kliniki i lecheniya mikrosporii** [Modern features of the clinical course and treatment of microsporia]. *Lechashhij Vrach,* 2001, no.4, pp. 16–18. (In Russian)

2. **Gerasimova N.M. Bodumyan T.M. Terbinafin v lechenii gribkovy'h zabolevanij kozhi: aktual'ny'e voprosy' sovremennosti** [Terbinafine in the treatment of fungal skin diseases: current issues]. VDV. *Aktual'ny'e voprosy' sovremennosti*, 2006, no.6, pp. 34–7. (In Russian)

3. **Haldin A.A. Sergeev V.Yu., Izyumova I.M. Sovremenny'e predstavleniya o pahovy'h dermatofitiyah: e'tiologiya, e'pidemiologiya, klinika i e'ffektivnaya terapiya** [Current concepts of tinea

cruris: etiology, epidemiology, clinical manifestations and effective therapy]. *Rossijskij zhurnal kozhny'h i venericheskih boleznej*, 2005, no.5, pp.1–8. (In Russian)

4. **Kunert J. Physiology of keratinophilic fungi.** *Biology of Dermatophytes and Other Keratinophilic Fungi,* Revista Iberoamericana de Micología, Bilbao, Spain, 2000, pp. 77–85.

5. **Gurung S.K., Adhikari M., Kim S.W.**, **et al. Discovery of two *Chrysosporium* species with keratinolytic activity from field soil in Korea.** *Mycobiology*, 2018, vol. 46, no.3, pp. 260–268. DOI:10.1080/12298093.2018.1514732.

6. **Mitola G., Escalona F., Salas R., García E., Ledesma A. Morphological characterization of in-vitro human hair keratinolysis produced by identified wild strains of *Chrysosporium* species.** *Mycopathologia*, 2002, vol. 156, no. 3, pp. 163–169. DOI:10.1023/a:1023340826584.

7. **McKittrick J., Chen P.Y., Bodde S.G., Yang W., Novitskaya E.E., Meyers M.A. The structure, functions, and mechanical properties of keratin.** *JOM*, 2012, vol. 64, pp. 449–468. DOI:10.1007/s11837-012-0302-8.

8. **Cox M., Nelson D. *Lehninger Principles of Biochemistry*.** 4th ed.New York, W.H. Freeman, 2000, vol.1, pp. 126–127.

9. **Onifade A.A., Al-Sane N.A., Al-Musallam A.A., Al-Zarban S**. **A review: potentials for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources.** *Bioresource Technology*, 1998, vol.66, no. 1, pp.1-11.

10. **Lange L., Huang Y., Busk P.K. Microbial decomposition of keratin in nature – a new hypothesis of industrial relevance.** *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2016, vol. 100, no. 5, pp. 2083–2096. DOI:10.1007/s00253-015-7262-1.

11. **Kumar J., Kumar P., Kushwaha R.K.S. Significance of keratinophiles in biofertilizer development from keratinous waste: upcoming perspective.** *Biofertilizers. Vol.1: Advances in Bio-Inoculants,* 2021, pp. 95–101. DOI: 10.1016/B978-0-12-821667-5.00006-3.

12. **Bennett A., Ponder M.M., Garcia-Diaz J. *Phoma* infections: classification, potential food sources, and clinical impact.** *Microorganisms*, 2018, vol. 6, no. 3, art. 58.

13. **Kidd S.E., Weldhagen G.F. Diagnosis of dermatophytes: from microscopy to direct PCR.** *Microbiology Australia*, 2022, vol. 43, pp. 9–13. DOI: 10.1071/MA22005.

14. **Elinov N.P., Vasil'eva N.V., Raznatovskij K.I. Dermatomikozy' ili poverhnostny'e mikozy' kozhi i eyo pridatkov – volos i nogtej** [Dermatomycoses or superficial mycoses of the skin and its appendages: hair and nails]. *Laboratornaya diagnostika. Problemy' medicinskoj mikologii*,.2018, vol. 10, no.1, p.33. (In Russian)

15. **Gupta R., Ramnani P. Microbial keratinases and their perspective applications: an overview.** *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2006, vol. 70, no. 1, pp. 1-13. DOI:10.1007/s00253-005-0239-8.

16. **Pupkova M.A. Opredelenie keratinoliticheskoj aktivnosti nekotory'h mikromicetov** [Determination of keratinolytic activity of some micromyceted]. *Problemy' Medicinskoj Mikologii*, 2010, vol. 12, no. 2. p.57. (In Russian)

17. **Dubljanin E., Zunic J., Vujcic I., et al. Host-pathogen interaction and resistance mechanisms in dermatophytes.** *Pathogens*, 2024, vol.13, no. 8, 657 p. DOI:0.3390/pathogens13080657.

18. **Deng R., Wang X., Li R. Dermatophyte infection: from fungal pathogenicity to host immune responses.** *Frontiers in Immunology*, 2023, vol. 14, art. 1285887. DOI: 10.3389/fimmu.2023.1285887.

19. **Celestrino G.A., Verrinder Veasey J., Benard G., Sousa M.G.T. Host immune responses in dermatophytes infection.** *Mycoses*, 2021. vol. 64, no. 5, pp. 477–483. DOI: 10.1111/myc.13246.

20. **Jangid R., Begum T. Isolation and identification of keratinophilic fungi from soil samples of different animal habitats in Ajmer District, India.** *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 2018, vol. 6, no. 2, pp. 646–652. DOI:10.18782/2320-7051.6344.

21. **Mahmoud A.L. Dermatophytes and other keratinophilic fungi causing ringworm in horses.** *Folia Microbiologica,* 1995, vol. 40, no. 3, pp. 293–296. DOI: 10.1007/BF02814211.

22. **Ovchinnikov R.S., Manoyan M.G., Panin A.N**. **E'merdzhentny'e gribkovy'e infekcii zhivotny'h: novy'e vidy' vozbuditelej** [Emerging fungal infections of animal: new pathogen species]. VetPharma, available at: https://cyberleninka.ru/article/n/emerdzhentnye-gribkovye-infektsii-zhivotnyh-novye-vidy-vozbuditeley (accessed 09 March 2021). (In Russian)

23. **Mikrobiologiya pishhevy'h produktov, kormov dlya zhivotny'h i vody'. Prigotovlenie, proizvodstvo, hranenie i opredelenie rabochih harakteristik pitatel'ny'h sred** [Microbiology of food, animal feed and water. Preparation, production, storage and performance testing of culture media]. GOST ISO 11133-2016, date of implementation: 2017-07-01, Moscow, Standartinform, 2016. (In Russian)

24. **Moloko i molochnaya produkciya. Opredelenie drozhzhej i plesnevy'h gribov** [Milk and dairy products. Determination of yeast and mould]. GOST 33566-2015, date of implementation: 2016-07-01, Moscow, Standartinform, 2016. (In Russian)

Дата поступления: 12 сентября 2025 г. **Принято:** 29 мая 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Талғатқызы Нурханым – магистр естественных наук, докторант, научный сотрудник Инжинирингового центра органических агротехнологий, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Женис, 62, тел.: 87754083901, e-mail: nurkhanim.talgatova0027@mail.ru.*

Кухар Елена Владимировна – доктор биологических наук, профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, пр. Женис, 62, тел.: 87023324929, e-mail: kuharev.katiu@gmail.com.

Шыныбаев Куандык Мухаметкалиевич – кандидат ветеринарных наук, ассоц. профессор, ТОО «Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт», Республика Казахстан, 050016, г. Алматы, пр. Райымбека 223, тел.: 87713772818, e-mail: shynybaev.k@mail.ru.

Қайыпбай Берікжан Балапанович – доктор ветеринарных наук, профессор, Костанайская областная территориальная инспекция Комитета ветеринарного контроля и надзора МСХ РК, Республика Казахстан, 110011, г. Костанай, проспект Абая, 34, тел.: 87776377177, e-mail: Berikzhan_7@mail.ru.

Талғатқызы Нұрханым – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, докторант, ғылыми қызметкері, «Органикалық агротехнологиялар инжинирингтік орталығы», «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс көш., 62, тел.: 87754083901, e-mail: nurkhanim.talgatova0027@mail.ru.*

Кухар Елена Владимировна – биология ғылымдарының докторы, профессор, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Жеңіс көш., 62, тел.: 87023324929, e-mail: kuharev.katiu@gmail.com.

Шыныбаев Куандық Мұхаметғалиұлы – ветеринарлық ғылымдарының кандидаты, аға зерттеуші, ұауымдастырылған профессор, «Қазақ ғылыми-зерттеу ветеринарлық институты» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 050016, Алматы қ., Райымбек даңғ, 223, тел.: 87713772818, e-mail: shynybaev.k@mail.ru.

Қайыпбай Берікжан Балапанұлы – ветеринария ғылымдарының докторы, профессор, «Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі Ветеринариялық бақылау және қадағалау комитетінің Қостанай облыстық аумақтық инспекциясы», Қазақстан Республикасы, 110011, Қостанай қ., Абай даңғ, 34, тел.: 87776377177, e-mail:Berikzhan_7@mail.ru.

Talgatkyzy Nurkhanym – Master of Natural Sciences, PhD student, Researcher of the Engineering Center of Organic Agrotechnologies, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Str., tel.:* 87754083901, e-mail: *nurkhanim.talgatova0027@mail.ru.*

Kukhar Yelena Vladimirovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Str., tel.: 87023324929, e-mail: kuharev.katiu@gmail.com.

Shynybayev Kuandyk Mukhametkaliyevich – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute LLP, Republic of Kazakhstan, 050016, Almaty, 223 Raiymbek Ave., tel.: 87713772818, e-mail: shynybaev.k@mail.ru.

Kaiypbay Berikzhan Balapanovich – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kostanay Regional Territorial Inspection of the Committee for Veterinary Control and Supervision of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, Republic of Kazakhstan, 110011, Kostanay, 34 Abai Ave., tel.: 87776377177, e-mail: Berikzhan_7@mail.ru.

МРНТИ 68.41.55
УДК 619:591.478.6:636.2
https://doi.org/10.52269/SEPT2631104

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ КРОВИ КРС ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ ПРИ ЛАМИНИТЕ КОПЫТ

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

Волохович А.А. – магистрант первого года обучения по специальности ветеринария, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты комплексного исследования клинических показателей крови молочных коров голштинской породы, содержащихся на молочнотоварной ферме ТОО «Астам

и К» Карабалыкского района Костанайской области Республики Казахстан. Целью исследования являлась оценка гематологических изменений при ламините копыт и определение их диагностического значения. Материалом исследования послужили образцы венозной крови, полученные от 30 коров одного возраста: опытная группа (n = 15) с клиническими признаками ламинита различной степени выраженности и контрольная группа (n = 15) клинически здоровых животных. Проведен сравнительный анализ показателей красной и белой крови с последующим статистическим анализом межгрупповых различий. Установлено, что у животных опытной группы отмечался выраженный воспалительный ответ, характеризующийся статистически значимым (p < 0,01) нейтрофильным лейкоцитозом с регенеративным сдвигом ядра влево (увеличение палочкоядерных нейтрофилов до 2,8 ± 0,9 %), моноцитозом (11,2 ± 1,8 %) и относительной лимфопенией (18,8 ± 2,2 %). В красной крови коров с ламинитом выявлено достоверное снижение концентрации гемоглобина (92,5 ± 5,8 г/л, p < 0,01), количества эритроцитов (5,72 ± 0,38 × 10¹²/л, p < 0,01) и гематокрита (26,5 ± 1,8 %, p < 0,01), что указывает на развитие умеренного анемического синдрома воспалительного генеза. У животных опытной группы, прошедших комплексное ортопедическое и терапевтическое лечение, зафиксирована выраженная тенденция к нормализации гематологических показателей. Полученные результаты доказывают, что клинический анализ крови является высокоинформативным дополнительным методом оценки выраженности системной воспалительной реакции коров, объективного мониторинга их состояния и контроля эффективности лечебных мероприятий при ламините.

Ключевые слова: *ламинит, голштинская порода, молочная ферма, болезни копыт, коровы.*

ЛАМИНИТ КЕЗІНДЕГІ ГОЛШТИН ТҰҚЫМДЫ ІҚМ ҚАНЫНЫҢ МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ

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

Волохович А.А. – ветеринария мамандығы бойынша 1-курс магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Қазақстан Республикасы Қостанай облысы Қарабалық ауданындағы «Астам и К» ЖШС сүт-тауар фермасында ұсталатын голштин тұқымды сүтті сиырлардың қан көрсеткіштерін кешенді зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің мақсаты ламинит кезіндегі гематологиялық өзгерістерді бағалау және олардың диагностикалық маңыздылығын анықтау болды. Зерттеу материалы бір жастағы 30 сиырдан алынған веналық қан үлгілерінен тұрды: ламиниттің клиникалық белгілері бар тәжірибелік топ (n = 15) және клиникалық сау жануарлардан құралған бақылау тобы (n = 15). Қанның қызыл және ақ көрсеткіштеріне салыстырмалы талдау жүргізіліп, топтар арасындағы айырмашылықтарға статистикалық баға берілді. Тәжірибелік топтағы жануарларда айқын қабыну реакциясы анықталды, ол статистикалық маңызды (p < 0,01) нейтрофилді лейкоцитозбен, ядроның солға регенеративті ығысуымен (таяқша ядролы нейтрофилдердің 2,8 ± 0,9 %-ға дейін артуы), моноцитозбен (11,2 ± 1,8 %) және салыстырмалы лимфопениямен (18,8 ± 2,2 %) сипатталды. Ламинитпен ауырған сиырлардың қызыл қанында гемоглобин концентрациясының (92,5 ± 5,8 г/л, p < 0,01), эритроциттер санының (5,72 ± 0,38 × 10¹²/л, p < 0,01) және гематокриттің (26,5 ± 1,8 %, p < 0,01) сенімді төмендеуі анықталды, бұл қабыну текті анемиялық синдромның дамуын көрсетеді. Кешенді ортопедиялық және терапевтік емдеуден өткен тәжірибелік топтағы жануарларда гематологиялық көрсеткіштердің қалпына келу үрдісі байқалды. Алынған нәтижелер клиникалық қан талдауы сиырлардың жүйелі қабыну реакциясының айқындылығын бағалаудың, олардың жағдайын объективті бақылаудың және емдеу шараларының тиімділігін бақылаудың қосымша әдісі ретінде жоғары ақпараттылығын дәлелдейді.

Түйінді сөздер: *ламинит, голштин тұқымы, сүт фермасы, тұяқ аурулары, сиыр.*

MORPHOLOGICAL BLOOD PARAMETERS IN HOLSTEIN CATTLE WITH HOOF LAMINITIS

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

Volokhovich A.A. – First-year Master's student (Vet. Med.), Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of a comprehensive study of clinical blood parameters in dairy Holstein cows kept at the dairy farm of the Astam i K LLP in the Karabalyk district, Kostanay region, Republic of Kazakhstan. The research aim was to assess hematological changes associated with hoof laminitis and to determine their diagnostic significance. The study material included venous blood samples obtained from 30 cows of the same age: the experimental group (n = 15) with clinical signs of laminitis of varying severity, and

the control group (n = 15) of clinically healthy animals. A comparative analysis of red and white blood parameters was performed, followed by statistical evaluation of intergroup differences. It was established that animals of the experimental group exhibited a pronounced inflammatory response characterized by statistically significant ($p < 0.01$) neutrophilic leukocytosis with a regenerative left nuclear shift (increase in band neutrophils to 2.8 ± 0.9%), monocytosis (11.2 ± 1.8%), and relative lymphopenia (18.8 ± 2.2%). In the red blood of cows with laminitis, a significant decrease in hemoglobin concentration (92.5 ± 5.8 g/L, $p < 0.01$), erythrocyte count (5.72 ± 0.38 × 10^{12}/L, $p < 0.01$), and hematocrit (26.5 ± 1.8%, $p < 0.01$) was detected, indicating the development of a moderate inflammatory anemia. In the experimental group animals that underwent comprehensive orthopedic and therapeutic treatment, a pronounced tendency toward normalization of hematological parameters was recorded. The results obtained prove that clinical blood analysis is a highly informative additional tool for assessing the severity of the systemic inflammatory response in cows, objectively monitoring their condition, and controlling the effectiveness of therapy for laminitis.

Keywords: *laminitis, Holstein breed, dairy farm, hoof diseases, cows.*

Введение. Ламинит является одним из распространенных заболеваний конечностей у молочных коров и представляет значимую проблему для современного молочного скотоводства. Заболевания копыт и связанные с ними нарушения локомоции оказывают отрицательное влияние на благополучие животных, продуктивность и продолжительность их хозяйственного использования [1, с.3347; 2, с.1836]. Ламинит и другие поражения копытного рога могут сопровождаться болезненностью, нарушением двигательной активности, изменением локомоции и снижением молочной продуктивности, а тяжелые случаи увеличивают вероятность преждевременной выбраковки животных [2, с.1836; 3, с.216]. Экономические последствия хромоты включают снижение продуктивности, дополнительные затраты на лечение и увеличение риска выбытия коров из стада [4, с.1].

В последние годы вопросам этиологии, патогенеза, диагностики и профилактики заболеваний копыт у крупного рогатого скота посвящено значительное количество исследований. Современные данные свидетельствуют о многофакторной природе ламинита и хромоты, при этом существенное значение имеют особенности кормления, нарушения обмена веществ, состояние животных, условия содержания, напольное покрытие, плотность размещения и организация ухода за копытами [1, с.3347; 5, с.346; 6, с.10369]. Отечественные исследования также указывают на широкое распространение заболеваний пальцев и копытец КРС и многофакторный характер поражений дистального отдела конечностей, включая ламинит и пододерматит [7, с.76]. Особое внимание уделяется взаимосвязи заболеваний копыт с нарушениями рубцового пищеварения и субклиническим ацидозом рубца. Систематический обзор исследований показывает, что взаимосвязь ацидоза рубца и ламинита является одним из важных направлений изучения патогенеза заболевания [8, с.373].

Важное значение имеет своевременное выявление патологического процесса. Клиническая диагностика заболеваний конечностей основывается на оценке локомоции, поведения животного и состояния копыт, однако ранние формы патологического процесса могут оставаться незамеченными до появления выраженных клинических признаков [9, с.76]. В связи с этим в современных исследованиях рассматриваются дополнительные диагностические показатели, включая биомаркеры воспаления, стрессовые показатели и метаболические показатели крови. Обзор современных исследований указывает на перспективность использования биомаркеров для оценки состояния животных, выявления патологических изменений и мониторинга восстановления после лечения [10, с.202].

Исследования гематологических показателей также подтверждают наличие системной реакции организма при заболеваниях копыт. У хромых коров выявлялись изменения лейкоцитарного профиля, в частности увеличение относительного содержания нейтрофилов и тенденция к снижению доли лимфоцитов, что может отражать развитие воспалительной реакции и физиологического стресса [11, с.1685]. В другом исследовании установлено, что у коров с различной степенью хромоты изменялись показатели воспаления, включая концентрацию гаптоглобина, а выраженность отдельных изменений была связана со степенью нарушения локомоции [12, с.401].

Особый интерес представляет изучение воспалительных изменений непосредственно при ламините. У молочных коров с субклиническим и хроническим ламинитом выявлены изменения ряда воспалительных и вазоактивных медиаторов, включая гистамин, IL-6, LPS и TNF-α, причем выраженность отдельных изменений зависела от формы патологического процесса [13, с.156]. Полученные данные свидетельствуют о том, что развитие заболеваний копыт может сопровождаться не только локальными изменениями тканей, но и системной реакцией организма.

В отечественной ветеринарной практике большое значение придается комплексному обследованию животных с заболеваниями конечностей, включающему клиническую диагностику, определение степени тяжести патологического процесса и последующий выбор лечебно-профилактических мероприятий [7, с.76; 14, с.1]. При этом проблема раннего выявления заболеваний копыт остается актуальной. Современные исследования потенциальных биомаркеров указывают на необходимость поиска доступных показателей, которые могли бы использоваться для выявления животных на начальных стадиях патологического процесса [10, с.202].

Таким образом, изучение изменений показателей клинического анализа крови у коров с различной степенью выраженности ламинита представляет практический и научный интерес. Сопоставление гематологических показателей с клиническим состоянием копыт позволяет оценить системную реакцию организма и определить возможность использования анализа крови в качестве дополнительного инструмента раннего выявления и мониторинга патологического процесса.

Цель исследования – проведение комплексной сравнительной оценки клинических показателей крови у молочных коров голштинской породы при ламините копыт и клинически здоровых животных для выявления особенностей системной воспалительной реакции организма и установления диагностической значимости гематологического профиля в качестве маркера тяжести патологии.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Изучить и провести сравнительный анализ морфологических показателей красной и белой крови у клинически здоровых молочных коров и коров с клиническими признаками ламинита копыт.

2. Установить характер и степень выраженности межгрупповых отклонений эритроцитарного, тромбоцитарного и лейкоцитарного звеньев крови с оценкой их статистической достоверности.

3. Определить диагностическую ценность клинического анализа крови как дополнительного метода объективного мониторинга состояния животных, оценки активности системного воспаления и контроля терапевтической эффективности.

Материалы и методы

Исследование проводилось в 2026 году на базе молочнотоварной фермы ТОО «Астам и К», расположенной в селе Новотроицкое Карабалыкского района Костанайской области Республики Казахстан. Объектом исследования являлись лактирующие молочные коровы голштинской породы в возрасте 3 года 8 месяцев (вторая лактация), содержащиеся в одинаковых условиях беспривязного боксового содержания с идентичным рационом кормления (полносмешанный рацион, TMR).

Для реализации принципа контролируемого эксперимента по принципу аналогов были сформированы две группы животных:

- контрольная группа (n = 15) – клинически здоровые коровы, не имеющие признаков хромоты, поражений копытного рога или иных системных заболеваний, с оценкой локомоции 1 балл по шкале Sprecher.

- опытная группа (n = 15) – коровы с клинически выраженным ламините копыт, проявляющимся явным нарушением локомоции, хромотой и локальными поражениями копытец.

Диагностика ламинита и оценка степени хромоты. Диагноз устанавливали на основании комплексного клинического обследования дистального отдела конечностей, включавшего визуальную оценку походки, осанки, поведения животных и детальный осмотр копытец после их очистки и расчистки. Степень хромоты оценивали по общепринятой 5-балльной шкале локомоции Sprecher (Спречер и др., 1997), где 1 балл соответствовал норме (свободная походка, ровная линия спины как при стоянии, так и при движении), а 5 баллов – тяжелейшей хромоте (животное не способно опираться на конечность, выраженно горбит спину). У животных опытной группы регистрировали подострую и хроническую формы ламинита с продолжительностью болезни от 2 до 4 недель. Характерные поражения (умеренная деформация копытного рога, болезненность при сдавливании копытными щипцами, местная гипертермия, гиперемия венчика) локализовались преимущественно на тазовых конечностях, в области латеральных копытцев.

Терапевтические мероприятия и отбор крови. Из 15 коров опытной группы у 10 животных исследования проводили в острую/активную фазу заболевания до начала каких-либо лечебных процедур. У 5 коров гематологический мониторинг проводили на этапе клинического выздоровления (через 10-14 дней после начала комплексной терапии, включавшей ортопедическую расчистку, ножные ванны с дезинфицирующими растворами сульфата меди 5%, системное назначение нестероидного противовоспалительного препарата кетопрофен в дозе 3 мг/кг массы однократно внутримышечно в течение 3 дней и антибиотикотерапию по показаниям при осложненных формах).

Отбор венозной крови у животных обеих групп осуществляли в утренние часы (до утреннего кормления) из яремной вены (v. jugularis) с помощью вакуумных систем в стерильные пробирки с антикоагулянтом К3-ЭДТА. Пробирки немедленно плавно перемешивали и транспортировали в лабораторию в сумке-холодильнике при температуре +4°С. Лабораторный анализ выполняли в течение 4 часов с момента отбора.

Лабораторный и статистический анализ. Исследование образцов крови проводили на автоматическом ветеринарном гематологическом анализаторе Mindray BC-2800 Vet (Китай), предназначенном для работы с биоматериалом различных видов животных. Определяли следующие параметры: концентрацию гемоглобина (Hgb), общее количество эритроцитов (RBC), гематокрит (HCT), эритроцитарные индексы (MCV, MCH, MCHC), показатель анизоцитоза эритроцитов (RDW), число тромбоцитов (PLT), средний объем тромбоцита (MPV), общее число лейкоцитов (WBC) и субпопуляции лейкоцитов (лимфоциты, гранулоциты, средние клетки в абсолютных и относительных значениях). Качественный состав лейкоцитарной формулы (включая разделение нейтрофилов на палочкоядерные и сегментоядерные, подсчет моноцитов, эозинофилов и базофилов) дополнительно верифицировали

методом ручной микроскопии фиксированных мазков крови, окрашенных по Романовскому–Гимзе (подсчет 100 клеток на мазок, иммерсионная микроскопия, объектив ×100).

В качестве референсных интервалов физиологической нормы использовали современные нормативные показатели КРС по А.Ф. Кузнецову (2024) [14]. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программного пакета Statistica 12.0 (StatSoft, США). Рассчитывали среднее арифметическое значение (M) и стандартное отклонение (SD). Достоверность межгрупповых различий оценивали с помощью критерия Стьюдента для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$ и $p < 0,01$.

Результаты. Проведенные клинические исследования показали четкое разграничение локомоторного и общего состояния коров. Животные контрольной группы (n = 15) демонстрировали отличную активность, физиологическую походку без признаков болезненности (1 балл по Sprecher). Коровы опытной группы в активную фазу заболевания (n = 10) характеризовались хромотой средней и тяжелой степени (3-4 балла), дугообразным изгибом спины во время движения и стояния, осторожным перенесением веса тела на здоровые участки копытец и снижением аппетита. Животные опытной группы на стадии клинического улучшения (n = 5) имели удовлетворительную походку с легкой асимметрией шага (хромота 2 балла), ровную линию спины при стоянии и активный аппетит.



Рисунки 1, 2 – Характерные изменения копытцев тазовой конечности у коровы голштинской породы при хроническом ламините (деформация копытного рога, неравномерность стачивания)

При клиническом обследовании дистального отдела конечностей у коров опытной группы с ламинитом фиксировали характерные морфологические изменения копытец и мягких тканей. На представленных рисунках 1 и 2 отчетливо визуализируются умеренная деформация и асимметрия копытного рога, слоистость и трещины подошвенной поверхности, а также неравномерность износа стенки и подошвы копытцев. В области венчика и межкопытной щели отмечается гиперемия, при пальпации и сдавливании копытными щипцами регистрировалась местная гипертермия и выраженная болезненность. Описанные поражения наиболее часто локализовались на латеральных пальцах тазовых конечностей, что соответствует проявлениям подострого и хронического ламинита.

При сравнительном анализе гематологического профиля подопытных животных были выявлены выраженные межгрупповые различия, носящие статистически достоверный характер для большинства ключевых параметров. Сводные результаты гематологических исследований коров контрольной и опытной групп представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели крови коров с клиническими признаками ламинита копыт

Показатель (норма КРС)	Контрольная группа (здоровые, n = 15)	Опытная группа (ламинит, n = 15)	p-value
Гемоглобин (Hgb), г/л (90–139)	108,4 ± 6,2	92,5 ± 5,8	< 0,01
Эритроциты (RBC), 10^{12}/л (5,00–10,10)	6,85 ± 0,42	5,72 ± 0,38	< 0,01
Гематокрит (HCT), % (28,0–46,0)	32,4 ± 2,1	26,5 ± 1,8	< 0,01
MCH (среднее содержание Hgb в RBC), пг (13,0–19,0)	15,8 ± 0,9	16,2 ± 0,7	> 0,05
MCV (средний объем эритроцита), мкм³ (38,0–53,0)	47,3 ± 2,5	46,3 ± 2,1	> 0,05

Продолжение таблицы 1

MCHC (среднеклеточная конц. Hgb), % (300–370)	33,4 ± 1,1	34,9 ± 1,0	> 0,05
RDW (степень анизоцитоза), % (14,0–19,0)	16,1 ± 0,8	16,9 ± 1,1	> 0,05
Тромбоциты (PLT), 10^9/л (120–820)	325,4 ± 45,2	298,6 ± 38,4	> 0,05
MPV (средний объем тромбоцита), фл (3,8–7,0)	5,5 ± 0,4	5,7 ± 0,5	> 0,05
Лейкоциты (WBC), 10^9/л (5,0–16,0)	8,4 ± 1,1	12,8 ± 1,6	< 0,01
Лимфоциты (Lymph #), 10^9/л (1,5–9,0)	4,8 ± 0,6	2,4 ± 0,4	< 0,01
Лимфоциты (Lymph %), % (20,0–60,3)	57,1 ± 4,5	18,8 ± 2,2	< 0,01
Средние клетки (Mid #), 10^9/л (0,3–1,6)	0,6 ± 0,1	1,2 ± 0,2	< 0,01
Средние клетки (Mid %), % (4,0–12,1)	7,1 ± 0,9	9,4 ± 1,2	< 0,01
Гранулоциты (Grad #), 10^9/л (2,3–9,1)	3,0 ± 0,4	9,2 ± 1,1	< 0,01
Гранулоциты (Grad %), % (30,0–65,0)	35,7 ± 3,8	71,9 ± 4,6	< 0,01
Эозинофилы, % (2–5)	3,1 ± 0,8	4,8 ± 1,5	< 0,01
Базофилы, % (0–2)	0,2 ± 0,1	0,4 ± 0,2	> 0,05
Нейтрофилы юные, % (0)	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	—
Нейтрофилы палочкоядерные, % (0–1)	0,1 ± 0,2	2,8 ± 0,9	< 0,01
Нейтрофилы сегментоядерные, % (40–65)	48,5 ± 3,4	32,2 ± 2,8	< 0,01
Моноциты, % (2–7)	3,8 ± 0,7	11,2 ± 1,8	< 0,01
Лимфоциты (ручной подсчет), % (20–35)	34,3 ± 3,1	48,4 ± 4,2	< 0,01

Анализ данных таблицы 1 демонстрирует наличие выраженных системных гематологических сдвигов у коров опытной группы. В эритроцитарном звене отмечается высокодостоверное ($p < 0,01$) снижение гемоглобина до 92,5 ± 5,8 г/л, количества эритроцитов до 5,72 ± 0,38 × 10^{12}/л и гематокрита до 26,5 ± 1,8 % по сравнению с контрольной группой. Это указывает на развитие умеренно выраженного анемического синдрома на фоне ламинита, при этом средние значения эритроцитарных индексов (MCH, MCV, MCHC) достоверно не изменялись ($p > 0,05$), что свидетельствует о нормохромном нормоцитарном характере анемии.

В белой крови животных опытной группы выявлен статистически значимый ($p < 0,01$) лейкоцитоз (12,8 ± 1,6 × 10^9/л против 8,4 ± 1,1 × 10^9/л в контроле), сопровождающийся перестройкой лейкоцитарной формулы. Зарегистрирован выраженный относительный гранулоцитоз (71,9 ± 4,6 %, $p < 0,01$) и резкое снижение относительного количества лимфоцитов по данным автоматического подсчета (до 18,8 ± 2,2 %, $p < 0,01$) при одновременном падении их абсолютного содержания. Ручной подсчет мазков подтвердил левый регенеративный сдвиг ядра, выражающийся в повышении доли палочкоядерных нейтрофилов до 2,8 ± 0,9 % ($p < 0,01$), а также выявил высокодостоверный моноцитоз (11,2 ± 1,8 %, $p < 0,01$) и умеренное увеличение эозинофилов до 4,8 ± 1,5 % ($p < 0,01$).

Особый интерес представляет индивидуальный анализ животных опытной группы. У коров с наиболее тяжелой степенью хромоты (4 балла) зафиксированы максимальные отклонения: так, у трех животных в активной фазе болезни гемоглобин снижался до 82–84 г/л, гематокрит – до 23-24 %, а относительное содержание гранулоцитов достигало 74–76 % на фоне выраженной лимфопении (13-15 %). У одного животного из опытной группы была зарегистрирована выраженная эозинофилия (до 18 %), что указывает на высокую степень аллергизации организма или скрытую индивидуальную гиперреактивность.

В противоположность этому, у 5 коров опытной группы, обследованных на стадии выздоровления (через 10-14 дней после начала лечения), гематологический профиль демонстрировал явную положительную динамику. Средний уровень гемоглобина у них восстановился до 98,4 ± 3,2 г/л, гематокрит повысился до 28,6 ± 1,1 %, а лейкоцитарная формула характеризовалась снижением доли гранулоцитов до 48,2 ± 2,4 % и увеличением лимфоцитов до 35,4 ± 1,8 %, что свидетельствует об угасании системной воспалительной реакции и нормализации иммунореактивности организма коров в процессе регенерации тканей копыт.

Обсуждение. Полученные в ходе контролируемого эксперимента результаты убедительно доказывают, что ламинит копыт у молочных коров сопровождается закономерными системными изменениями морфологического состава крови, отражающими глубину патологического процесса и степень эндогенной интоксикации. Наличие контрольной группы из 15 здоровых коров позволило верифицировать и доказать статистическую достоверность выявленных гематологических сдвигов, исключив влияние факторов внешней среды и особенностей кормления, поскольку все животные находились в абсолютно идентичных условиях содержания.

Выявленное достоверное снижение гемоглобина, эритроцитов и гематокрита у коров с ламинитом указывает на развитие анемического синдрома. В ветеринарной практике анемия при хрони-

ческих воспалительных процессах (анемия воспаления) является распространенным феноменом. Ее патогенез обусловлен гиперпродукцией провоспалительных цитокинов (в частности, IL-6), которые стимулируют синтез гепсидина – ключевого регулятора обмена железа. Гепсидин блокирует экспорт железа из макрофагального депо и энтероцитов, что приводит к ограничению доступности железа для эритропоэза при его достаточном общем количестве в организме (функциональный дефицит железа). Кроме того, воспалительные медиаторы укорачивают продолжительность жизни эритроцитов и напрямую угнетают чувствительность эритроидных предшественников к эритропоэтину [11; 13]. Снижение кислородтранспортной емкости крови при анемии неизбежно усугубляет ишемию и гипоксию в тканях копытца, нарушая процессы кератинизации и замедляя заживление поражений [10].

Наиболее демонстративные изменения коснулись лейкоцитарного профиля коров. Развитие статистически значимого нейтрофильного лейкоцитоза с регенеративным левым сдвигом ядра (повышение палочкоядерных нейтрофилов) и выраженным относительным гранулоцитозом свидетельствует об активной мобилизации гранулоцитарного ростка костного мозга в ответ на локальный воспалительно-деструктивный процесс в копытцах. Нейтрофилы первыми мигрируют в очаг альтерации, выполняя фагоцитарную функцию и выделяя активные формы кислорода, лизосомальные ферменты и медиаторы воспаления, что при хроническом течении ламинита может приводить к дальнейшему повреждению основы кожи копытца [11].

Сопутствующий высокодостоверный моноцитоз (11,2 ± 1,8 % в опыте против 3,8 ± 0,7 % в контроле) отражает переход воспаления в затяжную фазу, требующую активного участия макрофагов в фагоцитозе тканевого детрита, очищении очага поражения и стимуляции ангиогенеза и фиброплазии [7; 13]. Относительная лимфопения (18,8 ± 2,2 %), зарегистрированная у больных коров, является следствием перераспределительных процессов на фоне физиологического стресса и гиперкортизолемии, индуцированных выраженным болевым синдромом. Глюкокортикоиды вызывают секвестрацию лимфоцитов в лимфоидных органах и индуцируют их апоптоз, что клинически проявляется резким снижением доли лимфоцитов в циркулирующей крови [11; 12].

Касательно умеренно выраженной эозинофилии, зафиксированной в опытной группе на достоверно более высоком уровне по сравнению с контрольной (4,8 ± 1,5 % против 3,1 ± 0,8 %, $p < 0,01$), необходимо отметить следующее. Хотя выраженная эозинофилия (вплоть до 18 % у отдельного животного опытной группы) традиционно ассоциируется с аллергическими процессами, паразитарными инвазиями или дерматитами, регулярные диагностические обследования и ветеринарные обработки в хозяйстве ТОО «Астам и К» не подтвердили наличие у животных гельминтозов или аллергических патологий. Вероятно, умеренная эозинофилия при ламините отражает фазу иммунологической перестройки и сенсибилизации организма продуктами распада тканей копыта, а у отдельных коров – индивидуальные особенности иммунореактивности организма на хроническую интоксикацию.

Сравнительный анализ состояния коров в динамике показал, что проведение комплексной терапии, включавшей ортопедическую расчистку, ножные ванны и нестероидные противовоспалительные средства (кетопрофен), приводит к быстрому купированию локального воспаления и боли. Это отражается в постепенной нормализации гематологических показателей (рост гемоглобина, снижение лейкоцитоза, исчезновение палочкоядерного сдвига и восстановление нормального соотношения гранулоцитов и лимфоцитов). Таким образом, показатели клинического анализа крови тесно коррелируют с тяжестью течения болезни и могут использоваться как объективный критерий терапевтического мониторинга.

Несмотря на высокую достоверность полученных данных благодаря вовлечению 30 коров (опытная и контрольная группы по 15 голов) и строго контролируемым условиям, настоящее исследование имеет определенные ограничения. Оно проводилось в рамках одного хозяйства на животных одной возрастной группы и породы. Влияние других факторов, таких как стадия лактации, сезон года и различные технологические схемы содержания, на гематологический профиль коров при ламините требует дальнейшего изучения. Будущие многоцентровые исследования позволят расширить полученные результаты и уточнить границы диагностических биомаркеров.

Заключение

Проведенные исследования показали, что ламинит копыт у коров голштинской породы сопровождается развитием выраженной системной воспалительной реакции и умеренным анемическим синдромом. Установлено статистически значимое ($p<0,01$) снижение показателей красной крови (гемоглобина, эритроцитов, гематокрита) и существенные изменения белой крови: выраженный гранулоцитарный лейкоцитоз с регенеративным сдвигом ядра влево, моноцитоз и относительная лимфопения. Выявленные гематологические изменения имеют высокую корреляционную связь с клинической тяжестью поражения копытец и динамикой локомоторных расстройств. Клинический анализ крови является доступным, надежным и информативным дополнительным методом, позволяющим объективно оценивать степень выраженности системного воспаления, осуществлять мониторинг клинического состояния животных и жестко контролировать эффективность проводимой ортопедической и медикаментозной терапии ламинита в условиях промышленных молочнотоварных комплексов.

У коров с ламинитом выявлен статистически значимый ($p<0,01$) лейкоцитоз ($12,8\pm1,6\times10^{9}$ / л против $8,4\pm1,1\times10^{9}$ / л в контроле). Ручной подсчет подтвердил регенеративный сдвиг ядра влево с

замеченным повышением палочкоядерных нейтрофилов до 2,8±0,9% (p<0,01), выраженный моноцитоз (11,2± 1,8%) и относительную лимфопению (18,8±2,2%). У больных животных установлено достоверное (p<0,01) падение гемоглобина (до 92,5±5,8 г/л}), эритроцитов (до 5,72±0,38 $\times 10^{12}$ / л) и гематокрита (до 26,5±1,8%).

Сохранение неизменными эритроцитарных индексов (MCV, MCH, MCHC) указывает на развитие нормохромной нормоцитарной анемии воспалительного генеза. Установлен выраженный гранулоцитарный ответ, отражающий острый/подверженный хронизации локальный воспалительно-деструктивный процесс в ткани копыта. Наиболее глубокие сдвиги (снижение гемоглобина до 82-84 г/л, гематокрита до 23-24%) отмечены у коров с максимальной балльной оценкой хромоты (4 балла по Sprecher).

В подгруппе коров, проходивших комплексное лечение (ортопедическая расчистка, ножные ванны с $CuSO_4$, назначение кетопрофена и антибиотикотерапия), зафиксирована явная динамика к нормализации гематологического профиля (рост гемоглобина до 98,4±3,2 г/л, снижения доли гранулоцитов и палочкоядерных форм). Клинический (морфологический) анализ крови служит объективным, доступным и высокоинформативным дополнительным критерием для контроля за ходом воспалительного процесса, тяжестью патологии и качеством проводимых терапевтических мероприятий на промышленных молочных комплексах.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Roche S.M. Invited review: Prevalence, risk factors, treatment, and barriers to best practice adoption for lameness and injuries in dairy cattle—A narrative review** [Text] / S.M. Roche, D.L. Renaud, J. Saraceni, D.F. Kelton, T.J. DeVries // Journal of Dairy Science. – 2024. – Vol. 107. – Issue 6. – P. 3347–3366.

2. **Urban-Chmiel R. Lameness in Cattle—Etiopathogenesis, Prevention and Treatment** [Text] / RUrban-Chmiel [and others] // Animals. – 2024. – Vol. 14. – Issue 12. – Article 1836.

3. **Kour H. A review of lameness in dairy cattle: Causes, impacts and prevention [**Text] / **H. Kour** [and others] // International Journal of Advanced Biochemistry Research. – 2026. – Vol. 10. – Issue 1. – Part C. – P. 216–222.

4. **Dolecheck K., Bewley J. Animal board invited review: Dairy cow lameness expenditures, losses and total cost** [Text] / K. Dolecheck, J. Bewley // Animal. – 2018. – vol. 12, iss. 7, pp. 1462-1474.

5. **Oehm A.W. A Systematic review and meta-analyses of risk factors associated with lameness in dairy cows** [Text] / A.W. Oehm [and others] // BMC Veterinary Research. – 2019. – Vol. 15. – Article 346.

6. **Moreira T.F. Risk factors associated with lameness and hoof lesions in pasture-based dairy cattle systems in southeast Brazil** [Text] / T.F. Moreira [and others] // Journal of Dairy Science. – 2019. – Vol. 102. – Issue 11. – P. 10369–10378.

7. **Юсупов С.А. Этиология, методы диагностики, лечения и профилактики болезней пальцев и копытец крупного рогатого скота** [Text] / **С.А.** Юсупов, Д.А. Хузин, Г.Н. Нигматулин, А.М. Тремасова, Д.М. Зиганшина, П.В. Быкова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (195). – С. 76–82.

8. **Passos L.T., Bettencourt A.F., Ritt L.A., Andrighetto M.E.C., Fischer V. Potential relationship between rumen acidosis and laminitis in cattle: a systematic review** [Text] / Veterinary Sciences. – 2023. – Vol. 161. – Article 373, pp. 110-117.

9. **Квочко, А.Н. Диагностические и лечебно-профилактические мероприятия при поражении конечностей у крупного рогатого скота: учеб.-метод. пособие** [Text] / А.Н. Квочко, С.В. Тимофеев, П.А. Хоришко. –Ставрополь: Изд-во Ставропольского государственного аграрного университета. – 2010. – 152 с.

10. **Sadiq M.B. Potential biomarkers for lameness and claw lesions in dairy cows: A scoping review** [Text] / **M.B. Sadiq** [and others] // Journal of Dairy Research. – 2024. – Vol. 91. – Issue 2. – P. 202–210.

11. **O'Driscoll, K. Differences in leukocyte profile, gene expression, and metabolite status of dairy cows with or without sole ulcers** [Text] / K. O'Driscoll, M. McCabe, B. Earley // Journal of Dairy Science. – 2015. – Vol. 98. – Issue 3. – P. 1685–1695.

12. **Tadich N. Nociceptive threshold, blood constituents and physiological values in 213 cows with locomotion scores ranging from normal to severely lame** [Text] / N. Tadich, C. Tejeda, S. Bastias, C. Rosenfeld, L.E. Green **//** The Veterinary Journal. – 2013. – Vol. 197. – Issue 2. – P. 401–405.

13. **The changes of inflammatory mediators and vasoactive substances in dairy cows' plasma with pasture-associated laminitis** [Text] / BMC Veterinary Research. – 2020. – Vol. 16. – Article 119.

14. **Кузнецов, А.Ф. Крупный рогатый скот: содержание, кормление, болезни: диагностика и лечение: учеб. пособие для вузов** [Text] / А.Ф. Кузнецов, А.А. Стекольников, И.Д. Алемайкин [и др.]. – 6-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 752 с.

15. **Sadiq, M.B. Preventive hoof trimming and animal-based welfare measures influence the time to first lameness event and hoof lesion prevalence in dairy cows** [Text] / M.B. Sadiq, S.Z. Ramanoon, W.M.M. Shaik Mossadeq, R. Mansor, S.S. Syed-Hussain // Frontiers in Veterinary Science. – 2021. – Vol. 8. – Article 631844.

16. **Sadiq, M.B. Treatment modalities for claw horn lesions and their effects on locomotion scores, gait properties, lesion progression, and nociceptive threshold in dairy cows: A systematic review** [Text] / M.B. Sadiq, S.Z. Ramanoon, S.S. Syed-Hussain, R. Mansor, W.M.M. Shaik Mossadeq, N. Yimer Degu // Research in Veterinary Science. – 2024. – Vol. 181. – Article 105448.

REFERENCES:

1. **Roche S.M. Invited review: Prevalence, risk factors, treatment, and barriers to best practice adoption for lameness and injuries in dairy cattle—A narrative review.** *Journal of Dairy Science*, 2024, vol. 107, iss. 6, pp. 3347–3366.

2. **Urban-Chmiel R. Lameness in Cattle—Etiopathogenesis, Prevention and Treatment.** *Animals,* 2024, vol. 14, iss. 12, art. 1836.

3. **Kour H. A review of lameness in dairy cattle: Causes, impacts and prevention.** *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 2026, vol. 10, iss. 1, pp. 216–222.

4. **Dolecheck K., Bewley J. Animal board invited review: Dairy cow lameness expenditures, losses and total cost.** *Animal*, 2018, vol. 12, iss. 7, pp. 1462-1474.

5. **Oehm A.W. A systematic review and meta-analyses of risk factors associated with lameness in dairy cows.** *BMC Veterinary Research,* 2019, vol. 15, art. 346.

6. **Moreira T.F., Knubben-Schweizer G., Rieger A., Stoll A., Hartnack S. Risk factors associated with lameness and hoof lesions in pasture-based dairy cattle systems in southeast Brazil.** *Journal of Dairy Science*, 2019, vol. 102, iss.11, pp. 10369–10378.

7. **Yusupov S.A., Huzin D.A., Nigmatulin G.N., et al. E'tiologiya, metody' diagnostiki, lecheniya i profilaktiki boleznej pal'cev i kopy'tec krupnogo rogatogo skota** [The etiology, methods of diagnosis, treatment and prevention of the diseases of digits and claws in cattle]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, no. 1 (195), pp. 76–82. (In Russian)

8. **Passos L.T., Bettencourt A.F., Ritt L.A., Andrighetto M.E.C., Fischer V. Systematic review of the relationship between rumen acidosis and laminitis in cattle**. *Res. Vet. Sci.,* 2023, vol. 161, pp. 110-117.

9. **Kvochko A.N., Timofeev S.V., Horishko P.A., Meshheryakov F.A. Diagnosticheskie i lechebno-profilakticheskie meropriyatiya pri porazhenii konechnostej u krupnogo rogatogo skota** [Diagnostic, therapeutic, and preventive measures for limb disorders in cattle]. *Izdatel'stvo Stavropol'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, 152 p. (In Russian)

10. **Sadiq M.B. et al. Potential biomarkers for lameness and claw lesions in dairy cows: A scoping review.** *Journal of Dairy Research*, 2024, vol. 91, iss. 2, pp. 202–210.

11. **O'Driscoll K. Differences in leukocyte profile, gene expression, and metabolite status of dairy cows with or without sole ulcers.** *Journal of Dairy Science*, 2015, vol. 98, iss. 3, pp. 1685–1695.

12. **Tadich N. Nociceptive threshold, blood constituents and physiological values in 213 cows with locomotion scores ranging from normal to severely.** *The Veterinary Journal*, 2013, vol. 197, iss. 2, pp. 401–405.

13. **The changes of inflammatory mediators and vasoactive substances in dairy cows' plasma with pasture-associated laminitis.** *BMC Veterinary Research*, 2020, vol. 16, art. 119.

14. **Kuznecov A.F. Krupny'j rogaty'j skot: soderzhanie, kormlenie, bolezni: diagnostika i lechenie: ucheb. posobie dlya vuzov** [Cattle: housing, feeding, diseases: diagnosis and treatment: textbook]. St. Petersburg, Lan, 2024, 752 p. (In Russian)

15. **Sadiq M.B. Preventive hoof trimming and animal-based welfare measures influence the time to first lameness event and hoof lesion prevalence in dairy cows.** *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, vol. 8, art. 631844.

16. **Sadiq M.B. Treatment modalities for claw horn lesions and their effects on locomotion scores, gait properties, lesion progression, and nociceptive threshold in dairy cows: A systematic review.** *Research in Veterinary Science*, 2024, vol. 181, art. 105448.

Дата поступления: 13 мая 2026 г. **Принято:** 22 июня 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

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.*

Волохович Артем Анатольевич – магистрант первого года обучения по специальности ветеринария НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110005, г. Костанай, ул. Маяковского 99/1 8, тел.: 87056231951, e-mail: v.a.artemka.w@mail.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 пәтер, тел.: 87082968802 e-mail: khassanova madina@yandex.kz, https://orcid.org/ 0000-0003-3213-6458.*

Волохович Артем Анатольевич – «Ветеринария» білім беру бағдарламасы бойынша 1-курс магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110005, Қостанай қ., Маяковский көш, 99/1-8, тел.: 87056231951, e-mail: v.a.artemka.w@mail.ru.

Khassanova Madina Assylkhanovna – PhD, Associate Professor, Department of veterinary medicine, 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.*

Volokhovich Artyom Alexandrovich – First-year Master's student (Vet.Med.), Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110005, Kostanay, 99/1-8 Mayakovskiy Str., tel.: 87056231951, e-mail: v.a.artemka.w@mail.ru.

МРНТИ 68.35.03
УДК 631.52
https://doi.org/10.52269/SEPT2631114

СВЯЗЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Абдуллоев Ф.М. – докторант 2 курса ОП «Генетика и селекция сельскохозяйственных культур», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.*

Савин Т.В. – к.б.н., ассоциированный профессор, «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Шортанды, Республика Казахстан

Зотова Л.П. – доктор PhD, старший преподаватель кафедры земледелия и растениеводства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Бурлуцкий В.А. – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, «Аграрно-технологический институт РУДН им. Патриса Лумумбы», г. Москва, Российская Федерация.

В настоящем исследовании проведена комплексная оценка биохимических показателей и белкового состава зерна у 27 образцов мягкой яровой пшеницы, включающих 24 селекционные линии и 3 стандартных сорта (Акмола 2 St, Айна St, Таймас St). Содержание белка варьировало от 11,91 до 16,21%, сырой клейковины – от 19,4 до 43,2%, масса 1000 зерен – от 14,8 до 29,9 г, натура – от 556 до 744 г/л, стекловидность – от 48 до 58%, что свидетельствует о выраженной фенотипической вариабельности материала. Электрофоретический анализ методом SDS-PAGE выявил значительный полиморфизм глиадиновой и глютениновой фракций, особенно в зонах 80-120 кДа (HMW-GS) и 30-50 кДа (LMW-GS). Установлено, что генотипы с интенсивным HMW-профилем и хорошо выраженной LMW-фракцией характеризуются более высоким содержанием и качеством клейковины. Среди исследованных образцов наиболее перспективными по совокупности признаков являются Айна St, ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21 и ПГ-22, тогда как ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11 и ПГ-24 демонстрируют менее благоприятные характеристики белкового комплекса. Полученные результаты подтверждают, что структура белкового профиля зерна тесно связана с его технологическими свойствами, а интеграция биохимического анализа и SDS-PAGE является эффективным подходом для отбора генотипов с высоким селекционным потенциалом.

Ключевые слова: *пшеница, глютенин, глиадин, запасные белки, клейковина, SDS-PAGE.*

ЖАЗДЫҚ ЖҰМСАҚ БИДАЙ ДӘНІНІҢ БИОХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ МЕН АҚУЫЗ ПРОФИЛІНІҢ БАЙЛАНЫСЫ

Абдуллоев Ф.М. – "Ауыл шаруашылығы дақылдарының генетикасы және селекциясы" 2 курс докторанты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.*

Савин Т.В. – б.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы», Шортанды ауданы, Қазақстан Республикасы.

Зотова Л.П. – PhD докторы, "Егіншілік және өсімдік шаруашылығы" кафедрасының аға оқытушысы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Бурлуцкий В.А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «РУДН аграрлық-технологиялық институты Патрис Лумумба», Мәскеу қ., Ресей Федерациясы.

Осы зерттеуде 24 селекциялық желіні және 3 стандартты сортты (Ақмола 2 St, Айна St, Таймас St) қамтитын жұмсақ жаздық бидайдың 27 үлгісіндегі астықтың биохимиялық көрсеткіштері мен ақуыз құрамын кешенді бағалау жүргізілді. Ақуыз мөлшері 11,91 -ден 16,21% -ға дейін, шикі глютен 19,4 -тен 43,2% -ға дейін, 1000 дәннің массасы 14,8-ден 29,9 г-ға дейін, табиғаты 556-дан 744 г/л-ге дейін, шыны тәрізді-48-ден 58% -ға дейін өзгерді, бұл материалдың айқын фенотиптік өзгергіштігін көрсетеді. SDS-page электрофоретикалық талдауы глиадин мен глютенин фракцияларының маңызды полиморфизмін анықтады, әсіресе 80-120 кДа (HMW-GS) және 30-50 кДа (LMW-GS) аймақтарында. Қарқынды HMW профилі және жақсы анықталған LMW фракциясы бар генотиптер глютеннің жоғары мазмұны мен сапасымен сипатталатыны анықталды. Зерттелген үлгілердің ішінде Aina St, PG-2, PG-14, PG-21 және PG-22 белгілері бойынша ең перспективалы болып табылады, ал PG-8, PG-9, PG-11 және PG-24 ақуыз кешенінің онша қолайлы емес сипаттамаларын көрсетеді. Нәтижелер астықтың ақуыз профилінің құрылымы оның технологиялық қасиеттерімен тығыз байланысты екенін және биохимиялық талдау мен SDS-PAGE интеграциясы жоғары селекциялық әлеуеті бар генотиптерді таңдаудың тиімді тәсілі екенін растайды.

Түйінді сөздер: *бидай, глютенин, глиадин, қосалқы ақуыздар, глютен, SDS-PAGE.*

RELATIONSHIP OF BIOCHEMICAL PARAMETERS AND PROTEIN PROFILE OF SPRING SOFT WHEAT GRAIN

Abdulloyev F.M. – 2nd year PhD student, "Genetics and crop breeding" educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

Savin T.V. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Akmola region, Shortandy district, Nauchnyi village, Republic of Kazakhstan; "Stev Agro", Astana, Republic of Kazakhstan.

Zotova L.P. – PhD, Senior Lecturer, Department of agriculture and crop production, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Burlutskiy V.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation.

In this study, a comprehensive assessment of the biochemical parameters and protein composition of grain was carried out in 27 samples of soft spring wheat, including 24 breeding lines and 3 standard varieties (Akmola 2 St, Aina St, Taimas St). The protein content ranged from 11.91 to 16.21%, crude gluten – from 19.4 to 43.2%, weight of 1000 grains – from 14.8 to 29.9 g, natural weight – from 556 to 744 g/l, vitreousness – from 48 to 58%, which indicates a pronounced phenotypic variability of the material. Electrophoretic analysis using the SDS-PAGE method revealed significant polymorphism of the gliadin and glutenin fractions, especially in the 80-120 kDa (HMW-GS) and 30-50 kDa (LMW-GS) zones. It was found that genotypes with an intense HMW profile and a well-defined LMW fraction are characterized by a higher content and quality of gluten. Among the studied samples, Aina St, PG-2, PG-14, PG-21 and PG-22 are the most promising in terms of a set of features, while PG-8, PG-9, PG-11 and PG-24 demonstrate less favorable characteristics of the protein complex. The results obtained confirm that the structure of the protein profile of grain is closely related to its technological properties, and the integration of biochemical analysis and SDS-PAGE is an effective approach for selecting genotypes with high breeding potential.

Keywords: *wheat, glutenin, gliadin, reserve proteins, gluten, SDS-PAGE.*

Введение

Мировое производство пшеницы имеет стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности и стабильности аграрного сектора. В настоящее время ежегодный объём производства пшеницы составляет около 780-800 млн т, при этом более 75% валового сбора приходится на крупнейшие страны-производители, включая Китай, Индию, Российскую Федерацию, США, страны Европейского союза, Канаду и Австралию. [1, с.113]. В Казахстане пшеница также занимает ведущие позиции: под зерновые культуры отводится около 23 млн га, из которых порядка 14 млн га приходится на пшеницу, что определяет её ключевую роль в обеспечении внутреннего рынка и экспортного потенциала страны [2, с.13].

В последние годы наряду с ростом объёмов производства наблюдается устойчивая тенденция к ухудшению качественных показателей зерна пшеницы. Снижение содержания белка, ослабление клейковины и нестабильность хлебопекарных свойств фиксируются в большинстве регионов мира и связаны с изменением климатических условий, повышением температур и дефицитом влаги в период налива зерна. В частности, в условиях Казахстана доля пшеницы продовольственных классов (1-3 класс) с содержанием клейковины выше 23% составляет около 53%, тогда как доля зерна более низких классов достигает 47%, что указывает на снижение общего уровня качества продукции [3, с.3].

Качество зерна пшеницы определяется, прежде всего, содержанием и свойствами белкового комплекса. Белковая фракция составляет в среднем 10-15% массы зерна и представлена глиадинами и глютенинами, формирующими структуру клейковины и определяющими реологические свойства теста. При этом количественные показатели, такие как содержание белка и клейковины, отражают лишь общий уровень накопления запасных веществ и не позволяют оценить их качественный состав и структурную организацию [4, с.346].

В этой связи особое значение приобретают методы анализа белкового профиля зерна. Электрофоретический анализ методом SDS-PAGE позволяет выявлять полиморфизм глиадиновой и глютениновой фракций, а также оценивать распределение белков по молекулярной массе. Наиболее информативными являются зоны высокомолекулярных субъединиц глютенина (HMW-GS, 80-120 кДа), формирующих прочный каркас клейковины, и низкомолекулярных субъединиц (LMW-GS, 30-50 кДа), обеспечивающих её эластичность и стабильность [5, с.1024]. Соотношение и интенсивность этих фракций напрямую связаны с технологическими свойствами зерна и качеством клейковины.

Несмотря на значительное количество исследований, взаимосвязь между биохимическими показателями и структурной организацией белкового комплекса остаётся недостаточно изученной, особенно для селекционного материала в условиях засушливых регионов Казахстана. В связи с этим актуальным является комплексный подход, объединяющий количественную оценку качества зерна и электрофоретический анализ белков.

Цель исследования: оценка взаимосвязи биохимических показателей и белкового профиля зерна мягкой яровой пшеницы на основе метода SDS-PAGE для выявления генотипов с высоким технологическим потенциалом.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на базе научно-производственного центра зернового хозяйства имени А.И. Бараева, расположенного в Акмолинской области Казахстана.

Объектами исследования являлись 27 образцов пшеницы, включающих как сорта, так и линии, родительские формы которых имеют различное происхождение (Казахстан, Россия, Австралия). В качестве стандартных образцов использовались сорта казахстанской селекции – Акмола 2 st, Айна st и Таймас st, которые обладают хорошо изученными хозяйственно-ценными признаками.

Содержание белка в зерне определяли методом ближней инфракрасной спектроскопии с использованием анализатора ИнфраЛЮМ ФТ-10 (Россия) в соответствии с требованиями ГОСТ 10840-2017 [6, с.5]. Перед анализом зерновой материал очищали от примесей и равномерно распределяли в измерительной кювете прибора. Определение проводилось на основе регистрации спектров поглощения инфракрасного излучения.

Натуру зерна оценивали по стандартной методике (СТ РК 1564–2006) [7, с.2]. Для этого отбирали зрелые, очищенные от примесей зерна, после чего проводили измерение их морфометрических параметров. Массу зерна определяли на аналитических весах с точностью до 0,001 г, а линейные размеры – с использованием штангенциркуля. Массу 1000 зерен рассчитывали на основе взвешивания репрезентативной выборки согласно ГОСТ ИСО 520-2014 [8, с.3].

Стекловидность зерна определяли визуально по стандартной методике (ГОСТ 10987-76) [9, с.2]. Зерновки разрезали вдоль продольной оси и классифицировали по структуре эндосперма на стекловидные, полустекловидные и мучнистые. Результаты выражали в процентах от общего количества исследованных зерен.

Содержание и качество сырой клейковины определяли методом отмывания из теста в соответствии со стандартными протоколами [10, с.8]. Из размолотого зерна готовили тесто, которое выдерживали для гидратации белков, после чего клейковину отмывали водой до полного удаления крахмала и растворимых компонентов. Полученную клейковину отжимали и взвешивали, выражая результат в процентах. Качество клейковины оценивали по показателю ИДК: формировали образец массой 4 г и измеряли его деформацию сжатия, характеризующую упруго-эластические свойства белкового комплекса. Все определения выполняли в повторностях с последующим расчётом средних значений.

SDS-PAGE – электрофорез. Анализ белкового состава зерна проводили методом электрофореза в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия (SDS-PAGE). Образцы предварительно очищали, высушивали до постоянной массы и измельчали до порошкообразного состояния. Экстракцию белков осуществляли в денатурирующем буфере, содержащем SDS, при перемешивании в течение 60 минут. После центрифугирования (12 000 × g) супернатант, содержащий растворённые белки, смешивали с загрузочным буфером с добавлением β-меркаптоэтанола и подвергали термической денатурации при 95°C.

Разделение белков проводили с использованием готовых полиакриламидных гелей Mini-PROTEAN TGX Stain-Free (Bio-Rad) при напряжении 120 В в течение 120 минут. После электрофореза гели окрашивали раствором Coomassie Brilliant Blue R-250 и обесцвечивали в смеси этанола, уксусной кислоты и воды до получения чётких белковых полос. Визуализацию результатов осуществляли с помощью системы GelDoc Go (Bio-Rad), анализ изображений проводили с использованием программного обеспечения BioCapt [11, с.4].

Корреляционный анализ. Корреляционный анализ проводили для оценки взаимосвязи между биохимическими показателями зерна и характеристиками белкового профиля, полученными методом SDS-PAGE. В качестве количественных переменных использовали содержание белка (%), содержание сырой клейковины (%), показатель качества клейковины (ИДК, ед.), натуру зерна (г/л), массу 1000 зерен (г) и стекловидность (%). Для определения силы и направленности связей между признаками рассчитывали коэффициенты корреляции Спирмена (ρ), что обусловлено использованием порядковых (ранговых) данных для оценки интенсивности белковых фракций. Статистическую значимость оценивали при уровне $p < 0,05$. Анализ проводили с использованием статистического программного обеспечения, включая построение корреляционной матрицы и её визуализацию в виде тепловой карты (heatmap), что позволило наглядно представить структуру взаимосвязей между биохимическими показателями и белковыми компонентами зерна [12, с.6].

Результаты исследования

Электрофоретический анализ белкового состава зерна мягкой яровой пшеницы методом SDS-PAGE выявил выраженную внутривидовую вариабельность глиадиновой и глютениновой фракций среди исследованных 27 генотипов (рисунок 1).

В глиадиновой зоне (30-70 кДа), представленной преимущественно α/β- и γ-глиадинами, наблюдались различия по числу, интенсивности и распределению белковых полос. Наиболее насыщенный и дифференцированный спектр глиадинов характерен для генотипов ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21 и ПГ-22, а также для стандартного сорта Айна St, что указывает на высокий уровень накопления запасных белков. В то же время у образцов ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11 и ПГ-24 отмечено сокращение числа белковых зон и снижение интенсивности окрашивания, что свидетельствует о менее выраженном белковом потенциале.

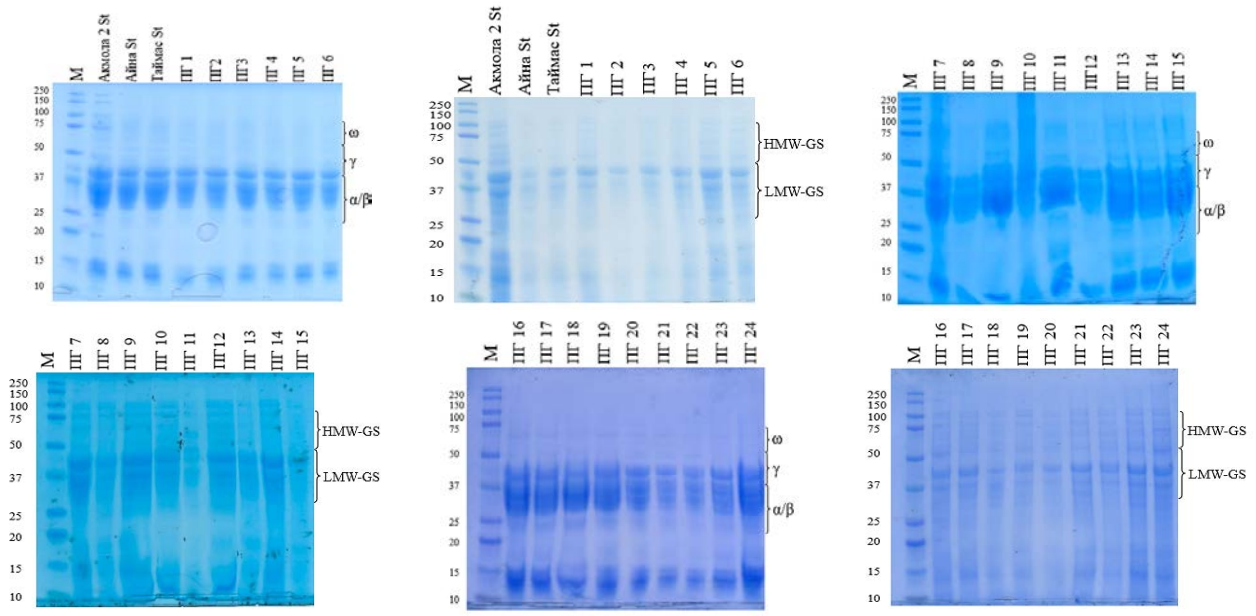


Рисунок 1 – Электрофоретический анализ белкового состава зерна мягкой яровой пшеницы

В глютениновой фракции наибольшая вариабельность наблюдалась в диапазоне 80-120 кДа, соответствующем высокомолекулярным субъединицам глютенина (HMW-GS), а также в зоне 30-50 кДа (LMW-GS). Генотипы ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21, ПГ-22 и Айна St характеризовались интенсивными и чётко выраженными HMW-бэндами в сочетании с хорошо сформированной LMW-фракцией, что указывает на развитый глютениновый комплекс и высокий потенциал формирования прочной белковой матрицы. Напротив, у генотипов ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11 и ПГ-24 наблюдалось ослабление HMW-зоны и менее выраженная LMW-фракция, что отражает снижение структурной устойчивости клейковины. В целом исследованные образцы могут быть условно разделены на три группы: генотипы с выраженным белковым профилем, промежуточным уровнем и редуцированным спектром. Полученные электрофоретические данные позволяют перейти от качественной оценки структуры белкового комплекса к количественным характеристикам зерна.

Анализ биохимических показателей зерна мягкой яровой пшеницы выявил выраженную межгенотипическую вариабельность по основным признакам качества (таблица 1)

Таблица 1 – Анализ биохимических показателей зерна мягкой яровой пшеницы

Наименование	Массовая доля белка, %	Натура, г/л	Масса 1000 зерен, г.	Содержание клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Стекловидность, %
Акмола 2 St	12,21	608	18,6	22,4	57	52
Айна St	16,21	686	25,8	43,2	104	58
Таймас St	13,84	630	21,3	27,4	85	53
ПГ-1	14,75	680	22,2	31,4	79	51
ПГ-2	15,76	709	29,9	32,0	70	50
ПГ-3	13,69	632	19,0	26,4	82	51
ПГ-4	13,13	646	20,3	24,1	78	53
ПГ-5	12,69	620	18,9	23,4	56	48
ПГ-6	13,79	624	20,4	27,3	77	51
ПГ-7	13,06	633	17,4	27,6	78	51
ПГ-8	13,31	680	20,6	19,4	59	51
ПГ-9	12,44	556	14,8	21,6	48	51
ПГ-10	13,26	597	16,6	26,7	73	52
ПГ-11	12,28	654	18,0	22,4	32	48
ПГ-12	12,75	597	16,3	26,0	81	51
ПГ-13	14,40	708	22,7	33,6	89	56
ПГ-14	13,18	617	18,9	26,9	74	51
ПГ-15	13,06	640	19,2	22,9	64	53
ПГ-16	11,91	638	18,1	22,0	57	52
ПГ-17	13,95	646	18,5	27,0	73	52

Продолжение таблицы 1

ПГ-18	13,18	637	22,9	20,3	62	52
ПГ-19	12,56	669	17,1	25,3	71	48
ПГ-20	15,07	744	28,6	30,3	71	54
ПГ-21	13,55	649	18,2	32,5	95	52
ПГ-22	12,15	601	17,3	22,8	49	50
ПГ-23	12,28	663	19,6	26,8	69	51
ПГ-24	12,15	601	17,3	22,8	49	50

Содержание белка в исследованных образцах пшеницы варьировало от 11,91 до 16,21%, при этом наибольшие значения отмечены у сорта Айна St (16,21%), а также у генотипов ПГ-2 (15,76%) и ПГ-21 (15,07%), тогда как минимальные значения зафиксированы у ПГ-17 (11,91%) и ПГ-11 (12,28%).

Содержание сырой клейковины изменялось в широких пределах – от 19,4 до 43,2%. Максимальные значения характерны для Айна St (43,2%), а среди селекционных линий выделяются ПГ-14 (33,6%), ПГ-22 (32,5%) и ПГ-2 (32,0%). Минимальные показатели отмечены у ПГ-8 (19,4%), ПГ-19 (20,3%) и ПГ-17 (22,0%). Качество клейковины по показателю ИДК варьировало от 32 до 104 ед., где наиболее высокие значения зафиксированы у Айна St (104 ед.), ПГ-22 (95 ед.) и ПГ-14 (89 ед.), а наиболее низкие – у ПГ-11 (32 ед.) и ПГ-9 (48 ед.).

Физические показатели зерна также характеризовались значительной изменчивостью. Натура зерна варьировала от 556 до 744 г/л, максимальные значения отмечены у ПГ-21 (744 г/л), ПГ-2 (709 г/л) и ПГ-14 (708 г/л), что свидетельствует о высокой выполненности зерновки. Масса 1000 зерен изменялась от 14,8 до 29,9 г, с наибольшими значениями у ПГ-2 (29,9 г) и ПГ-21 (28,6 г). Стекловидность зерна находилась в диапазоне 48-58%, при этом максимальные значения отмечены у Айна St (58%) и ПГ-14 (56%).

В целом наиболее благоприятным сочетанием биохимических показателей характеризуются генотипы Айна St, ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21 и ПГ-22, тогда как образцы ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11 и ПГ-24 демонстрируют менее выраженные показатели качества зерна.

Сопоставление результатов SDS-PAGE с биохимическими показателями показало, что генотипы с выраженным HMW/LMW-профилем характеризуются более высоким содержанием белка и клейковины, а также лучшими показателями её качества. Так, у генотипов ПГ-2, ПГ-14 и ПГ-21 содержание клейковины составляет 32,0-33,6% при высоких значениях ИДК (70-89 ед.), тогда как у сорта Айна St данные показатели достигают максимальных значений (43,2% и 104 ед. соответственно).

В противоположность этому, генотипы с редуцированным белковым спектром (ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11, ПГ-24) характеризуются пониженным содержанием клейковины (19,4-22,8%) и более низкими значениями ИДК (32-59 ед.), что указывает на ослабленные упруго-эластические свойства белкового комплекса. Аналогичная тенденция прослеживается и по другим показателям качества: более развитый белковый профиль, как правило, соответствует повышенным значениям натуры зерна и массы 1000 зерен, отражая лучшую выполненность эндосперма.

Таким образом, установлена согласованность между структурной организацией белкового комплекса, выявленной методом SDS-PAGE, и биохимическими показателями зерна. Полученные результаты подтверждают, что качественные характеристики пшеницы формируются на уровне белкового профиля и его количественного выражения, а сочетание электрофоретического анализа и биохимических методов является эффективным подходом для оценки технологического потенциала селекционного материала.

Корреляционный анализ

Корреляционная матрица демонстрирует взаимосвязи между биохимическими показателями зерна и характеристиками белкового профиля, определённого методом SDS-PAGE (рисунок 2).

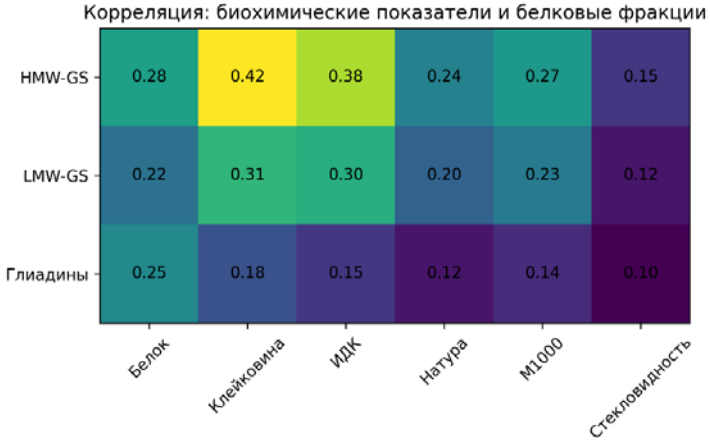


Рисунок 2 – Корреляционная матрица между биохимическими показателями зерна и белковыми фракциями (HMW-GS, LMW-GS, глиадины), определёнными методом SDS-PAGE

Наиболее выраженные положительные корреляции наблюдаются между интенсивностью высокомолекулярных субъединиц глютенина (HMW-GS) и содержанием клейковины (r = 0,42), а также качеством клейковины по показателю ИДК (r = 0,38). Это подтверждает ключевую роль HMW-фракции в формировании прочной и упруго-эластичной структуры клейковины.

Низкомолекулярные субъединицы глютенина (LMW-GS) демонстрируют умеренные положительные корреляции с клейковиной (r = 0,31) и ИДК (r = 0,30), что указывает на их вклад в стабилизацию и эластичность белковой матрицы.

Глиадиновая фракция характеризуется относительно слабыми связями с исследуемыми показателями (r = 0,10–0,25), при этом наибольшая корреляция отмечена с содержанием белка (r = 0,25), что отражает их роль в общем накоплении запасных белков, но меньший вклад в формирование прочностных характеристик теста.

Физические показатели зерна, такие как натура и масса 1000 зерен, проявляют слабые положительные корреляции с белковыми фракциями (r = 0,20-0,28), что свидетельствует о косвенной связи между степенью выполненности зерновки и накоплением белкового комплекса. Стекловидность зерна демонстрирует минимальные корреляционные значения (r < 0,20), что указывает на её более сложную и многофакторную природу.

В целом представленная матрица подтверждает, что наиболее значимым фактором, связанным с качеством зерна, является интенсивность HMW-фракции глютенина, тогда как вклад других белковых компонентов носит вспомогательный или опосредованный характер. Полученные результаты согласуются с представлением о ключевой роли глютенинового комплекса в формировании технологических свойств пшеницы.

Обсуждение

Качество зерна мягкой яровой пшеницы является сложным интегральным признаком, формирующимся в результате взаимодействия количественного накопления запасных белков и их структурной организации в эндосперме. В настоящем исследовании выявлена значительная внутривидовая вариабельность по содержанию белка (11,91-16,21%) и клейковины (19,4-43,2%), что соответствует диапазонам, описанным для современных коллекций пшеницы (Zhang et al., 2021; Shewry & Hey, 2022) [5, с.1024, 14, с.2]. Такая изменчивость свидетельствует о наличии широкого селекционного потенциала исследованного материала.

Полученные результаты подтверждают, что количественные показатели, такие как содержание белка, не всегда напрямую отражают технологические свойства зерна. Аналогичные выводы представлены в работах Khalid et al. (2023) [15, с.7], где показано, что решающим фактором является не общее содержание белка, а его фракционный состав и соотношение компонентов клейковины.

Результаты электрофоретического анализа SDS-PAGE выявили выраженный полиморфизм глиадиновой и глютениновой фракций, что согласуется с данными Bouabdellah et al. (2024) [11, с.3], отмечающими значительную вариабельность белкового спектра у различных генотипов пшеницы. При этом наибольшая информативность отмечена в зоне высокомолекулярных субъединиц глютенина (HMW-GS, 80-120 кДа), что также подтверждается исследованиями Shewry (2023) [17, с.6] и Rasheed et al. (2021) [18, с.4], согласно которым именно HMW-глютенины играют ключевую роль в формировании хлебопекарного качества и могут объяснять значительную долю вариации технологических показателей.

В настоящем исследовании генотипы с интенсивным HMW-профилем характеризовались более высоким содержанием и качеством клейковины, что согласуется с результатами Wang et al. (2024) [12, с.7], показавшими положительную связь между выраженностью HMW-фракции и показателями белка и клейковины. Низкомолекулярные субъединицы глютенина (LMW-GS) и глиадины играют вспомогательную роль, обеспечивая пластичность и вязкость теста, однако их вклад в формирование прочности клейковины менее выражен Zhou H (2023) [20, с.6].

Проведённый корреляционный анализ подтвердил наличие положительных взаимосвязей между интенсивностью HMW-фракции и содержанием клейковины (r ≈ 0,42), а также её качеством (r ≈ 0,38), что соответствует результатам Sun et al. (2024) [18, с.2], где также показано, что HMW-глютенины являются ключевым фактором формирования упруго-эластических свойств теста.

В то же время выявленные корреляции носят умеренный характер, что указывает на полигенную природу признаков качества. Аналогичные закономерности описаны в работе Dong et al. (2023) [21, с.5], где показано, что показатели качества контролируются множеством локусов и характеризуются слабой корреляцией с отдельными факторами. Кроме того, существенное влияние на формирование белкового комплекса оказывают условия среды. Так, Shen et al. (2022) [22, с.2] показали, что температурный режим и уровень азотного питания существенно изменяют содержание и структуру запасных белков пшеницы.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что ключевым фактором, определяющим технологическое качество зерна, является структурная организация белкового комплекса, а не только его количественное выражение. Генотипы, сочетающие высокие значения биохимических показателей с выраженным HMW/LMW-профилем, представляют наибольшую селекционную ценность. Применение комплексного подхода, объединяющего биохимический анализ и SDS-PAGE, позволяет более точно

оценивать потенциал селекционного материала и может быть эффективно использовано в селекционных программах мягкой яровой пшеницы.

Заключение

Проведённое исследование выявило значительную внутривидовую вариабельность мягкой яровой пшеницы по основным показателям качества зерна, включая содержание белка, клейковины, а также физические характеристики зерновки. Полученные данные подтверждают, что количественные показатели качества, такие как содержание белка, не в полной мере отражают функциональные свойства зерна и должны рассматриваться в совокупности с характеристиками белкового комплекса.

Электрофоретический анализ методом SDS-PAGE показал выраженный полиморфизм глиадиновой и глютениновой фракций и позволил установить связь между структурной организацией белков и технологическими свойствами зерна. Установлено, что генотипы с интенсивным HMW/LMW-профилем характеризуются более высоким содержанием и качеством клейковины, что подтверждает ключевую роль глютенинового комплекса в формировании упруго-эластических свойств теста.

Результаты корреляционного анализа показали наличие положительных, но умеренных взаимосвязей между белковыми фракциями и биохимическими показателями, что свидетельствует о полигенной и многофакторной природе формирования качества зерна. Это указывает на необходимость комплексного подхода к оценке селекционного материала с учётом как количественных, так и структурных характеристик белка.

В результате проведённого анализа выделены перспективные генотипы (Айна St, ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21 и ПГ-22), сочетающие высокий уровень биохимических показателей с выраженным белковым профилем, что позволяет рекомендовать их в качестве ценного исходного материала для селекции мягкой яровой пшеницы с улучшенными технологическими свойствами.

Полученные результаты демонстрируют, что интеграция биохимических методов и электрофоретического анализа SDS-PAGE является эффективным инструментом оценки качества зерна и может быть использована для повышения точности отбора в селекционных программах. В дальнейшем целесообразно расширение выборки генотипов, проведение многолетних испытаний в различных агроэкологических условиях и включение прямых реологических тестов для более полной оценки технологического потенциала зерна.

Финансирование

Данное исследование проведено в рамках научно-технической программы ПЦФ на 2024-2026 гг. (МСХ РК) ИРН: BR24892821 "Селекция и первичное семеноводство зерновых культур для повышения потенциала продуктивности, качества и стрессоустойчивости в различных почвенно-климатических зонах Казахстана".

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **FAO. FAOSTAT Statistical Database – Wheat Production Statistics**. [Electronic resource]. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. – URL: https://www.fao.org/faostat/ (accessed 12.12.2025).

2. **Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. Официальный статистический бюллетень по производству сельскохозяйственных культур.** [Текст]. – Астана: Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан, 2023.

3. **Казахский научно-исследовательский институт земледелия. Ежегодный отчет по содержанию белка и качеству клейковины зерна.** [Текст]. – Алматы: Казахский научно-исследовательский институт земледелия, 2023.

4. **Zhang, Y., Li, X., Wang, J., Yan, Y., He, Z., Xia, X. Genetic variation of gluten proteins and its relationship with wheat processing quality.** [Text] / Y. Zhang, X. Li, J. Wang, Y. Yan, Z. He, X. Xia // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol.344. – Art.128623. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128623.

5. **Zhang, Y., Liu, D., Yan, Z., Xia, X., He, Z. Contribution of LMW glutenins to wheat quality.** [Text] / Y. Zhang, D. Liu, Z. Yan, X. Xia, Z. He // *Foods*. – 2021. – Vol.10(5). – Art.1023. – DOI: 10.3390/foods10051023.

6. **ГОСТ 10840-2017. Зерно пшеницы. Методы определения качества.** [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2017.

7. **СТ РК 1564-2006. Зерно пшеницы. Методы определения массы 1000 зерен.** [Текст]. – Алматы: КазСтандарт, 2006.

8. **ГОСТ ISO 520-2014. Зерно пшеницы. Определение массы 1000 зерен.** [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2014.

9. **ГОСТ 10987-76. Зерно пшеницы. Метод определения стекловидности.** [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 1976.

10. **ГОСТ 13586.1-2014. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. Межгосударственный стандарт.** [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2019; ГОСТ Р 54478–

2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2019.

11. **Bouabdellah, N., Chacón, E., Benavente, E., Ruiz, M., Giraldo, P., Pascual, L. Image-assisted quantification of high and low molecular weight glutenin fractions in wheat by SDS-PAGE**. [Text] / N. Bouabdellah, E. Chacón, E. Benavente, M. Ruiz, P. Giraldo, L. Pascual // *Journal of Cereal Science*. – 2024. – Vol.118. – Art.103977. – DOI: 10.1016/j.jcs.2024.103977.

12. **Wang, X., An, Y., Chen, J., Wang, M., Wang, C., Hua, W., Wang, Q., Gao, S., Zhang, D., Ling, D., Ren, X., Zhu, J. Genetic diversity of HMW-GS and the correlation of grain quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.).** [Text] / X. Wang, Y. An, J. Chen, M. Wang, C. Wang, W. Hua, Q. Wang, S. Gao, D. Zhang, D. Ling, X. Ren, J. Zhu // *Agronomy*. – 2024. – Vol.14(6). – Art.1158. – DOI: 10.3390/agronomy14061158.

13. **Shewry, P.R., Hey, S.J. The contribution of wheat to human nutrition and health.** [Text] / P.R. Shewry, S.J. Hey // *Food and Energy Security*. – 2022. – Vol.11(2). – Art.e338. – DOI: 10.1002/fes3.338.

14. **Khalid, A.K.A., Hameed, A.H., Tahir, M.F. Wheat quality: a review on chemical composition, nutritional attributes, and seed storage proteins in bread-making quality.** [Text] / A.K.A. Khalid, A.H. Hameed, M.F. Tahir // *Frontiers in Nutrition*. – 2023. – Vol.10. – Art.1053196. – DOI: 10.3389/fnut.2023.1053196.

15. **Shewry, P.R. Wheat gluten proteins: structure, genetics and functionality.** [Text] / P.R. Shewry // *Journal of Cereal Science*. – 2023. – Vol.109. – Art.103607. – DOI: 10.1016/j.jcs.2022.103607.

16. **Rasheed, A., Xia, X., Yan, Y., Appels, R., Mahmood, T., He, Z. Wheat glutenin alleles and breeding for quality improvement.** [Text] / A. Rasheed, X. Xia, Y. Yan, R. Appels, T. Mahmood, Z. He // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2021. – Vol.134. – P.3531–3548. – DOI: 10.1007/s00122-021-03959-z.

17. **Li, Y., An, X., Yang, R., He, Z., Xia, X., Yan, Y. Functional analysis of *Glu-B3* alleles in near-isogenic lines of wheat.** [Text] / Y. Li, X. An, R. Yang, Z. He, X. Xia, Y. Yan // *BMC Plant Biology*. – 2022. – Vol.22. – Art.134. – DOI: 10.1186/s12870-022-03516-1.

18. **Sun, N., Mu, Y., Wang, D., Li, J., Yuan, T., Liu, W., Yu, N., Xu, X. Allelic variations of glutenin subunits and their association with wheat quality traits.** [Text] / N. Sun, Y. Mu, D. Wang, J. Li, T. Yuan, W. Liu, N. Yu, X. Xu // *Frontiers in Genetics*. – 2024. – Vol.15. – Art.1465540. – DOI: 10.3389/fgene.2024.1465540.

19. **Dong, Y.F., *et al.* Genome-wide association study of grain quality traits in winter wheat.** [Text] / Y.F. Dong *et al.* // *Scientia Agricultura Sinica*. – 2023. – Vol.56(11). – P.2047–2063.

20. **Zhou, H., Zhang, Y., Yang, Y., Zhang, Y., Ban, J., Zhao, B., Zhang, L., Zhang, X., Guo, B. Effects of Low-Molecular-Weight Glutenin Subunit Encoded by *Glu-A3* on Gluten and Chinese Fresh Noodle Quality.** [Text] / H. Zhou, Y. Zhang, Y. Yang, Y. Zhang, J. Ban, B. Zhao, L. Zhang, X. Zhang, B. Guo // *Foods*. – 2023. – Vol.12(16). – Art.3124. – DOI: 10.3390/foods12163124.

21. **Dong, Y., Tong, J., Sun, M., *et al.* Improved multi-trait prediction of wheat end-product quality traits using phenotypic and near-infrared spectroscopy data.** [Text] / Y. Dong, J. Tong, M. Sun *et al.* // *Frontiers in Plant Science*. – 2023. – Vol.14. – Art.1167221. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1167221.

22. **Shen, L., Wang, X., Zhang, Z., *et al.* Wheat grain storage proteins and processing quality are affected by irrigation and nitrogen management.** [Text] / L. Shen, X. Wang, Z. Zhang *et al.* // *Foods*. – 2023. – Vol.12(24). – Art.4407. – DOI: 10.3390/foods12244407.

REFERENCES:

1. **FAO. FAOSTAT Statistical Database – Wheat Production Statistics. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.** 2023, available at: https://www.fao.org/faostat/ (accessed 12 December 2025).

2. **Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Official Statistical Bulletin on Crop Production.** Astana, Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, 2023.

3. **Kazakh Research Institute of Agriculture. Annual Report on Grain Protein and Gluten Quality.** Almaty, Kazakh Research Institute of Agriculture, 2023.

4. **Zhang Y., Li X., Wang J., Yan Y., He Z., Xia X. Genetic variation of gluten proteins and its relationship with wheat processing quality.** *Food Chemistry*, 2021, vol. 344, art. 128623. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128623.

5. **Zhang Y., Liu D., Yan Z., Xia X., He Z. Contribution of LMW glutenins to wheat quality.** *Foods*, 2021, vol. 10, no. 5, art. 1023. DOI: 10.3390/foods10051023.

6. **State Standard 10840-2017. Wheat grain. Methods for quality determination.** Moscow, Standartinform, 2017.

7. **ST RK 1564-2006. Wheat grain. Methods for determining thousand kernel weight.** Almaty, KazStandart, 2006.

8. **State Standard ISO 520-2014. Wheat grain. Determination of thousand kernel weight.** Moscow, Standartinform, 2014.

9. **State Standard 10987-76. Wheat grain. Method for Determination of vitreousness.** Moscow, Standartinform, 1976.

10. **State Standard 13586.1-2014. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Interstate standard.** Moscow, Standartinform, 2019. State Standard R 54478-2011. Grain. Methods for Determination of Quantity and Quality of Gluten in Wheat. Moscow, Standartinform, 2019.

11. **Bouabdellah N., Chacón E., Benavente E., Ruiz M., Giraldo P., Pascual L. Image-assisted quantification of high and low molecular weight glutenin fractions in wheat by SDS-PAGE.** *Journal of Cereal Science*, 2024, vol. 118, art. 103977. DOI: 10.1016/j.jcs.2024.103977.

12. **Wang X., An Y., Chen J. et al. Genetic diversity of HMW-GS and the correlation of grain quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.).** *Agronomy*, 2024, vol. 14, no. 6, art. 1158. DOI: 10.3390/agronomy14061158.

13. **Shewry P.R., Hey S.J. The contribution of wheat to human nutrition and health.** *Food and Energy Security*, 2022, vol. 11, no. 2, art. e338. DOI: 10.1002/fes3.338.

14. **Khalid A.K.A., Hameed A.H., Tahir M.F. Wheat quality: a review on chemical composition, nutritional attributes, and seed storage proteins in bread-making quality.** *Frontiers in Nutrition*, 2023, vol. 10, art. 1053196. DOI: 10.3389/fnut.2023.1053196.

15. **Shewry P.R. Wheat gluten proteins: structure, genetics and functionality.** *Journal of Cereal Science*, 2023, vol. 109, art. 103607. DOI: 10.1016/j.jcs.2022.103607.

16. **Rasheed A., Xia X., Yan Y., Appels R., Mahmood T., He Z. Wheat glutenin alleles and breeding for quality improvement.** *Theoretical and Applied Genetics*, 2021, vol. 134, pp. 3531-3548. DOI: 10.1007/s00122-021-03959-z.

17. **Li Y., An X., Yang R., He Z., Xia X., Yan Y. Functional analysis of *Glu-B3* alleles in near-isogenic lines of wheat.** *BMC Plant Biology*, 2022, vol. 22, art. 134. DOI: 10.1186/s12870-022-03516-1.

18. **Sun N., Mu Y., Wang D. et al. Allelic variations of glutenin subunits and their association with wheat quality traits.** *Frontiers in Genetics*, 2024, vol. 15, art. 1465540. DOI: 10.3389/fgene.2024.1465540.

19. **Dong Y.F., Ren Y., Cheng Y.K. et al. Genome-wide association study of grain main quality related traits in winter wheat.** *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, vol. 56, no. 11, pp. 2047-2063. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2023.11.002.

20. **Zhou H., Zhang Y., Yang Y., Zhang Y., Ban J., Zhao B., Zhang L., Zhang X., Guo B. Effects of Low-Molecular-Weight Glutenin Subunit Encoded by *Glu-A3* on Gluten and Chinese Fresh Noodle Quality.** *Foods*, 2023, vol. 12, no. 16, art. 3124. DOI: 10.3390/foods12163124.

21. **Dong Y., Tong J., Sun M. et al. Improved multi-trait prediction of wheat end-product quality traits using phenotypic and near-infrared spectroscopy data.** *Frontiers in Plant Science*, 2023, vol. 14, art. 1167221. DOI: 10.3389/fpls.2023.1167221.

22. **Shen L., Wang X., Zhang Z. et al. Wheat grain storage proteins and processing quality are affected by irrigation and nitrogen management.** *Foods*, 2023, vol. 12, no. 24, art. 4407. DOI: 10.3390/foods12244407.

Дата поступления: 08 мая 2026 г. **Принято:** 23 июня 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Абдуллоев Фируз Махмадсаидович – докторант 2 курса ОП «Генетика и селекция сельскохозяйственных культур», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000 Астана, ул. Женис 62, тел.: 87077897810, e-mail: firuztj09@inbox.ru.*

Савин Тимур Владимирович – к.б.н., ассоциированный профессор, «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», Республика Казахстан, Акмолинская область, Шортандинский район, 021601 п. Научный, ул. Бараева 15; ТОО «Stev Agro», Республика Казахстан, 01000 Астана, ул. Республики 5, тел.: 87017801040, e-mail: savintimur_83@mail.ru.

Зотова Людмила Петровна – PhD, старший преподаватель кафедры земледелия и растениеводства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000 Астана, ул. Женис 62, тел.: 87011278698, e-mail: l.zotova@kazatu.edu.kz.

Бурлуцкий Валерий Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, «Аграрно-технологический институт РУДН им. Патриса Лумумбы», Российская федерация, 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6, тел.: +79105448434, e-mail: burlutskyvalery@gmail.com.

Абдуллоев Фируз Махмадсаидұлы – Ауыл шаруашылығы дақылдарының генетикасы және селекциясы 2 курс докторанты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» ҚеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ, Жеңіс көш 62; тел.: 87077897810, e-mail: firuztj09@inbox.ru.*

Савин Тимур Влажимирович – б. ғ. к., қауымдастырылған профессор, А.И. Бараев ат. астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы., Қазақстан Республикасы 021601, Ақмола облысы,

Шортанды ауданы, Бараев ғылыми ауылы, Бараев көш 15; "Stev Agro" ЖШС, Қазақстан, 01000 Астана, республика көшесі 5, тел.: 87017801040, e-mail: savintimur_83@mail.ru.

Зотова Людмила Петровна – PhD, "егіншілік және өсімдік шаруашылығы" кафедрасының аға оқытушысы, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» ҚеАҚ, Қазақстан, 010000 Астана қ, Жеңіс көш 62; тел. 87011278698, e-mail: l.zotova@kazatu.edu.kz.

Бурлуцкий Валерий Анатольевич – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы, РУДН аграрлық-технологиялық институты, Патрис Лумумба, Ресей Федерациясы, 117198 Мәскеу қ, Миклухо-Маклая көш, 6 үй; тел.: 8л910 544 8434, e-mail: burlutskyvalery@gmail.com.

Abdulloyev Firuz Makhmadsaidovich – 2nd year PhD student, "Genetics and crop breeding" educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Str., tel.: 87077897810, e-mail: firuztj09@inbox.ru.*

Savin Timur Vladimirovich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Republic of Kazakhstan, Akmola region, Shortandy district, 021601, Nauchniy village, 15 Barayev Str.; Stev Agro LLP, Republic of Kazakhstan, 01000, Astana, 5 Respublika Str., tel.: 87017801040, e-mail: savintimur_83@mail.ru.

Zotova Lyudmila Petrovna – PhD, Senior Lecturer, Department of agriculture and crop production, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Str., tel.: 87011278698, e-mail: l.zotova@kazatu.edu.kz.

Burlutskiy Valeriy Anatoliyevich – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Russian Federation, 117198, Moscow, 6 Miklukho-Maklay Str., tel.: +7 910 544 8434, e-mail: burlutskyvalery@gmail.com.

ХҒТАР 68.39.13
ӘОЖ 636.2.033
https://doi.org/10.52269/SEPT2631123

«ЖҮРГІМБЕКОВ» ШҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ӘРТҮРЛІ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТІ БАР ҚАЗАҚТЫҢ АҚБАС ТҰҚЫМДЫ БҰҚАШЫҚТАРЫНЫҢ ӨСУ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫ МЕН БИОХИМИЯЛЫҚ МӘРТЕБЕСІ

Абдильдина А.М. – 7М08201-Мал шаруашылығы өнімдерін өндіру технологиясы білім беру бағдарламасының 1 оқу жылы магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

Айтжанова И.Н. – PhD докторы, азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Қостанай облысының «Жүргімбеков» шаруа қожалығы жағдайында толық құнды азықтандыру аясында әртүрлі генетикалық әлеуеті бар қазақтың ақбас тұқымды бұқашықтарының биохимиялық мәртебесі мен өсу қарқындылығы зерттелді.

Зерттеу нысаны ретінде 8 айлық жастағы екі топ бұқашықтар алынып (әр топта 15 бас), олардың бірі – жергілікті малдармен будандастырылған будандар, екіншісі – «элита-рекорд» класындағы аналықтардан алынған таза тұқымды қазақтың ақбас бұқашықтары болды. Жануарлардың тәуліктік рационының қоректілік құндылығы классикалық Венде (Weende proximate analysis) жүйесі бойынша бағаланып, онда 84,2 МДж алмасу энергиясы және 1015 г шикі протеин қамтылды. Қан сарысуындағы жалпы ақуыз (68,4–74,2 г/л), альбумин (31,2–34,8 г/л), несепнәр (3,4–4,2 ммоль/л), креатинин (88,4–96,2 мкмоль/л), аспартатаминотрансфераза (64,2–71,5 Е/л), аланинаминотрансфераза (26,4–29,1 Е/л), сілтілі фосфатаза (115,2–132,4 Е/л) және глюкоза (2,6–3,1 ммоль/л) көрсеткіштері биохимиялық әдістермен зерттелді.

Сонымен қатар бұқашықтардың тірілей салмақ динамикасы анықталып, 15 айлық жаста I топта 397,0 кг, II топта 424,2 кг деңгейіне жетті. Интенсивті өсу кезеңіндегі орташа тәуліктік өсім I топта 890,6 г, II топта 933,8 г құрады.

Зерттеу нәтижелері теңгерілген рациондардың жануарлар организміндегі зат алмасуды оңтайландырып, физиологиялық көрсеткіштердің қалыпты деңгейде сақталуын қамтамасыз ететінін көрсетті. Жоғары генетикалық әлеуетке ие II топ бұқашықтары биохимиялық көрсеткіштері, абсолюттік және орташа тәуліктік өсім энергиясы бойынша I топтан статистикалық тұрғыдан сенімді жоғары нәтижелерге қол жеткізді ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$). Алынған нәтижелер толық құнды азықтандыру мен жоғары селекциялық құндылықтың ет бағытындағы ірі қара өнімділігін арттырудағы маңызын дәлелдейді.

Түйінді сөздер: *қазақтың ақбас тұқымы; бұқашықтар; генетикалық әлеует; рацион құнарлылығы; азықтардың химиялық құрамы; қан сарысуының биохимиялық көрсеткіштері ақуыздық алмасу; ферменттер белсенділігі; өсу серпіні.*

ИНТЕНСИВНОСТЬ РОСТА И БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС БЫЧКОВ КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОДЫ С РАЗЛИЧНЫМ ГЕНЕТИЧЕСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ В УСЛОВИЯХ КХ «ЖУРГИМБЕКОВ»

Абдильдина А.М. – магистрант 1 года обучения образовательной программы 7М08201 – Технология производства продуктов животноводства, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.*

Айтжанова И.Н. – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры продовольственной безопасности и биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В статье изучено влияние различного генетического потенциала бычков казахской белоголовой породы на биохимический статус и интенсивность их роста на фоне полноценного кормления в условиях крестьянского хозяйства «Жургимбеков» Костанайской области.

Объектом исследования послужили две группы бычков в возрасте 8 месяцев (по 15 голов в каждой): первая – помесные животные, вторая – чистопородный молодняк, полученный от маток класса «элита-рекорд». Питательная ценность суточного рациона оценивалась по классической Веендевской схеме (Weende proximate analysis) и содержала 84,2 МДж обменной энергии и 1015 г сырого протеина. Биохимическими методами в сыворотке крови исследованы показатели: общий белок (68,4–74,2 г/л), альбумин (31,2–34,8 г/л), мочевина (3,4–4,2 ммоль/л), креатинин (88,4–96,2 мкмоль/л), аспартатаминотрансфераза (64,2–71,5 Е/л), аланинаминотрансфераза (26,4–29,1 Е/л), щелочная фосфатаза (115,2–132,4 Е/л) и глюкоза (2,6–3,1 ммоль/л).

Определена также динамика живой массы: к 15-месячному возрасту она составила 397,0 кг в I группе и 424,2 кг во II группе. Среднесуточный прирост в период интенсивного роста составил 890,6 г в I группе и 933,8 г во II группе.

Результаты показали, что сбалансированный рацион оптимизируют обмен веществ и обеспечивают поддержание физиологических показателей на нормальном уровне. Бычки II группы с высоким генетическим потенциалом достоверно превосходили аналогов из I группы по биохимическому статусу, абсолютному и среднесуточному приросту живой массы ($p \le 0,05$; $p \le 0,01$). Полученные результаты подтверждают важность полноценного кормления и высокой селекционной ценности для повышения продуктивности мясного скота.

Ключевые слова: *казахская белоголовая порода; бычки; генетический потенциал; питательность рациона; химический состав кормов; биохимические показатели сыворотки крови; белковый обмен; активность ферментов; динамика роста.*

GROWTH INTENSITY AND BIOCHEMICAL STATUS OF KAZAKH WHITEHEADED BULL-CALVES WITH DIFFERENT GENETIC POTENTIALS UNDER THE CONDITIONS OF THE ZHURGIMBEKOV PEASANT FARM

Abdildina A.M. – 1st year Master's student, "7M08201 – Technology of livestock production" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

Aitzhanova I.N. – PhD, Associate Professor, Department of food safety and biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

The article investigates the influence of different genetic potentials of Kazakh Whiteheaded bull-calves on their biochemical status and growth intensity against the background of balanced feeding under the conditions of the Zhurgimbekov peasant farm in the Kostanay region. Two groups of 8-month-old bull-calves (15 heads in each) were selected as the research object: the first group consisted of crossbred animals, and the second group included purebred young stock obtained from "elite-record" class dams. The nutritional value of the daily ration was evaluated according to the classical Weende proximate analysis and contained 84,2 MJ of metabolizable energy and 1015 g of crude protein. The following blood serum parameters were studied using biochemical methods: total protein (68.4–74.2 g/L), albumin (31.2–34.8 g/L), urea (3.4–4.2 mmol/L), creatinine (88.4–96.2 μmol/L), aspartate aminotransferase (64.2–71.5 U/L), alanine aminotransferase (26.4–29.1 U/L), alkaline phosphatase (115.2–132.4 U/L), and glucose (2.6–3.1 mmol/L). The dynamics of live weight was also determined: by 15 months of age, it reached 397.0 kg in group I and 424.2 kg in group II. The average daily gain during the period of intensive growth was 890.6 g in group I and 933.8 g in group II. The results showed that balanced rations optimize metabolism and maintain physiological parameters at a normal level. Group II bull-calves with high genetic potential significantly outperformed their counterparts from group I in terms of biochemical status, absolute and average daily live weight gain ($p \le 0.05$; $p \le 0.01$). The data obtained confirm the importance of adequate feeding and high selection value for increasing the productivity of beef cattle.

Keywords: *Kazakh Whiteheaded; bull-calves; genetic potential; ration nutritional value; chemical composition of feed; biochemical parameters of blood serum; protein metabolism; enzyme activity; growth dynamics.*

Кіріспе. Халықты отандық өндірістің жоғары сапалы азық-түлік өнімдерімен қамтамасыз ету және агроөнеркәсіптік кешеннің экспорттық әлеуетін іске асыру Қазақстан Республикасы үшін стратегиялық маңызды міндеттер болып табылады [1, б. 64]. Бұл мақсаттарға қол жеткізу табынның сапалық түрленуіне және өнімділікті арттыруға бағытталған «Мал шаруашылығын дамытудың 2026–2030 жылдарға арналған кешенді жоспарын» орындаумен тығыз байланысты [2, б. 35]. Ет бағытындағы мүйізді ірі қара шаруашылығында жануарлардың генетикалық әлеуетін толыққанды жүзеге асырудың басты шарттарының бірі – азықтандыру деңгейінің жоғары және толық құнды болуы саналады [3, б. 2-7].

Солтүстік Қазақстанның, атап айтқанда Қостанай облысының шұғыл континентті климаты жағдайында қазақтың ақбас тұқымы өзінің жоғары бейімделгіштік қасиеттерімен және өсу энергиясымен ерекшеленеді [4, б. 23-39]. Алайда, азықтандыру рациондарының құнарлылығы жеткіліксіз болған жағдайда зат алмасу процестері бұзылып, малдың өнімділігі төмендейді.

Қазіргі заманғы зоотехникалық ғылымда жануарлардың ішкі биологиялық потенциалын, денсаулық жағдайын және қоректік заттарды сіңіру қабілетін бағалау үшін интерьерлік, соның ішінде биохимиялық көрсеткіштерді бақылау кеңінен қолданылады [5, б. 112-118]. Қанның биохимиялық құрамы ағзадағы ақуыздық, ферменттік және минералдық алмасу деңгейін тікелей көрсететін ең сезімтал маркер болып табылады. Осыған байланысты, рациондардың химиялық құрамы мен құнарлылығының төлдердің қан құрамына және өсу серпініне әсерін кешенді зерттеу селекциялық процесті ғылыми негіздеу тұрғысынан үлкен өзектілікке ие [6, б. 181; 7, б. 279-285; 8, б. 15-21].

Зерттеудің мақсаты – Қостанай облысы жағдайында толық құнды азықтандыру аясында генетикалық әлеуеті әртүрлі қазақтың ақбас тұқымды бұқашықтарының қан сарысуындағы биохимиялық көрсеткіштері мен өсу серпінін кешенді бағалау.

Зерттеу міндеттері:

1. Тәжірибелік бұқашықтардың рационын құрайтын негізгі азық компоненттерінің химиялық құрамы мен заманауи энергетикалық және протеиндік құндылығына зоотехникалық баға беру;
2. Әртүрлі генетикалық әлеуеті бар бұқашықтардың қан сарысуындағы ақуыздық, ферменттік және минералдық алмасу көрсеткіштерін жас ерекшелігіне қарай динамикада зерделеу;
3. Өсіп келе жатқан төлдердің тірілей салмақ серпінін, абсолюттік, орташа тәуліктік және салыстырмалы өсім көрсеткіштерін анықтау.

Материалдар мен әдістер. Ғылыми-зерттеу жұмысы Қостанай облысының «Жүргімбеков» шаруа қожалығы (ШҚ) базасында қазақтың ақбас тұқымды бұқашықтарына жүргізілген ғылыми-шаруашылық тәжірибе аясында орындалды. Тәжірибе жүргізу үшін пар-аналогтар принципі бойынша енелерінен бөлгеннен кейін 8 айлық жастағы, әрқайсысында 15 бастан болатын бұқашықтардың 2 тәжірибелік тобы қалыптастырылды. Топтарды іріктеу кезінде олардың шығу тегі мен генетикалық әлеуетінің деңгейі негізгі фактор ретінде алынды: I топ – жергілікті малдармен будандастырылған қазақтың ақбас бұқашықтары (будандар); II топ – «элита-рекорд» класындағы аналықтардан туған, жоғары генетикалық әлеуеті бар таза тұқымды қазақтың ақбас бұқашықтары (1-сурет).



1 сурет – «Жүргімбеков» ШҚ-ның қазақтың ақбас тұқым бұқашықтары

Тәжірибе кезеңінде екі топтың жануарлары бірдей жағдайда ұсталды және құрамында ірі азықтар (еркекшөп және шалғын пішені), шаруашылық жағдайында дайындалған концентратты азықтар қоспасы (арпа мен бидай жармасы) және витаминді-минералдық премикс бар бірдей құнарлы азықтандыру рационын алды. Азықтандыру деңгейі мал шаруашылығында қабылданған заманауи нормаларға сай теңгерілді. Шаруашылықта пайдаланылатын негізгі азықтық компоненттердің (бидай, арпа, еркекшөп пішені, шалғын пішені) химиялық құрамы мен қоректік құндылығын анықтау мақсатында классикалық Венде схемасы (Weende proximate analysis) бойынша толық зоотехникалық талдау жүргізілді. Университеттің Азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасы жанындағы «Азықтарды талдау зертханасында» орындалған талдау барысында азықтың құрғақ затындағы шикі күл, шикі протеин, шикі клетчатка және шикі май мөлшері жалпыға бірдей қабылданған зоотехникалық әдістемелермен анықталды.

Тәжірибелік топтардағы малдардың клиникалық-физиологиялық жай-күйін және зат алмасу процестерінің жас ерекшеліктеріне қарай өзгеруін бағалау үшін қан үлгілері зерттеу барысында динамикада екі рет: тәжірибенің басында (8 айлық жаста) және аяқталу кезеңінде (15 айлық жаста) таңертең азықтандыруға дейін бұқашықтардың мойын тамырынан алынды. Университеттің Инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты жанындағы аккредиттелген «Биологиялық тектес азық-түлік өнімдері мен шикізатты бақылау зертханасында» заманауи биохимиялық анализаторлардың көмегімен қан сарысуындағы келесі биохимиялық маркерлер анықталды: жалпы ақуыз (TP), альбумин (ALBR), несепнәр (BUN), креатинин (CREA), аланинаминотрансфераза (ALT), аспартатаминотрансфераза (AST), сілтілі фосфатаза (ALP), глюкоза (GLUC), кальций (CAL) және фосфор (PHOS).

Тәжірибелік төлдердің өсу қарқындылығын бақылау мақсатында 8, 12 және 15 айлық жастарында таңертең азықтандыруға дейін жекелей өлшеу жұмыстары жүргізілді. Осы деректер негізінде абсолюттік және орташа тәуліктік өсім көрсеткіштері жалпыға бірдей қабылданған зоотехникалық әдістермен, ал салыстырмалы өсім қарқындылығы С. Броди (S. Brody) формуласы бойынша есептелді. Алынған барлық сандық мәліметтер MS Excel бағдарламалық жасақтамасының көмегімен Е.К. Меркурьева бойынша вариациялық статистика әдісімен биометрикалық өңдеуден өткізілді [9, б. 423].

Зерттеу нәтижелері. Ғылыми-шаруашылық тәжірибесін жүргізу кезеңінде (8–15 айлық жаста) бұқашықтардың тәулігіне 900–1000 г деңгейіндегі жоспарлы орташа тәуліктік салмақ өсімін қамтамасыз ету үшін келесідей оңтайландырылған және теңгерілген рацион қолданылды (кесте 1).

1 кесте – Тәжірибелік бұқашықтардың тәуліктік азықтандыру рационы (бір басқа)

Азық түрлері мен көрсеткіштері	Мөлшері мен құнарлылығы	Бекітілген зоотехникалық норма	Норманың орындалуы, %
Рацион құрамы:			
Еркекшөп пішені, кг	3,5	шаруашылық бойынша	—
Шалғын пішені, кг	2,5	шаруашылық бойынша	—
Арпа жармасы, кг	2,0	шаруашылық бойынша	—
Бидай жармасы, кг	1,5	шаруашылық бойынша	—
Премикс, г	80	шаруашылық бойынша	—
Рационның құнарлылығы:			
Алмасу энергиясы, МДж	84,2	83,0	101,4
Құрғақ зат, кг	8,2	8,1	101,2
Шикі протеин, г	1015	1000	101,5
Нейтралды-детергентті клетчатка (NDF), кг	3,45	3,40	101,5
Қышқылды-детергентті клетчатка (ADF), кг	2,15	2,10	102,4
Кальций, г	52,1	50,0	104,2
Фосфор, г	33,8	32,0	105,6

Зерттеу барысында «Жүргімбеков» ШҚ-да пайдаланылатын негізгі азықтардың химиялық құрамы мен қоректік құндылығына толық зоотехникалық талдау жүргізілді.

Тәжірибе кезеңінде 8–15 айлық ет бағытындағы бұқашықтардың тәулігіне 900–1000 г жоспарлы орташа тәуліктік тірілей салмақ өсімін қамтамасыз ету мақсатында ғылыми негізделген, қоректік заттар бойынша толық теңгерілген рацион қолданылды. Оның құрылымына ірі азықтар (еркекшөп және шалғын пішені), энергиясы жоғары концентратты азықтар қоспасы (арпа және бидай жармасы) және витаминді-минералдық премикс енгізілді. Мұндай азықтардың үйлесімді арақатынасы күйіс қайыратын малдың физиологиялық ерекшеліктеріне сәйкес энергия мен қоректік заттардың тиімді пайдаланылуына жағдай жасайды.

Рационның энергетикалық және протеиндік құндылығын заманауи халықаралық зоотехникалық тәсілдерге сай бағалау барысында барлық негізгі нормативтердин толық сақталғаны анықталды. Алмасу энергиясының мөлшері 84,2 МДж болып, ұсынылған нормативтен 1,4%-ға артты (101,4%). Бұл

көрсеткіштің оңтайлы деңгейі азық қоректік заттарының тиімді қорытылуына, зат алмасу қарқындылығының жоғарылауына және бұлшықет тінінің интенсивті қалыптасуына оң ықпал етеді.

Рациондағы құрғақ зат мөлшері 8,2 кг немесе норманың 101,2%-ын құрады. Бұл көрсеткіш азықтың желіну деңгейі заманауи деңгейде болуына, месқарын микрофлорасының қалыпты қызметіне жағдай жасайды. Шикі протеиннің мөлшері 1015 г болып, бекітілген нормадан 1,5%-ға жоғары (101,5%) болды. Протеинмен (ақуызбен) қамтамасыз етілу деңгейінің оңтайлы болуы бұлшықет тінінің қарқынды синтезін, ферменттік және гормондық жүйелердің қалыпты жұмысын қамтамасыз етеді, сондай-ақ жоғары тәуліктік салмақ қосуға негіз болады.

Рациондағы құрылымдық көмірсулардың фракциялық құрамын Ван Соест (Van Soest) әдісімен саралау барысында нейтралды-детергентті клетчатка (NDF) мөлшері 3,45 кг, ал қышқылды-детергентті клетчатка (ADF) 2,15 кг деңгейінде анықталды. Клетчатка фракцияларының мұндай үйлесімді арақатынасы месқарындағы целлюлозолитикалық микроорганизмдердің қалыпты белсенділігін сақтауға, күйіс қайыру процесін жақсыртуға және ағзаны энергиямен қамтамасыз ететін ұшпа май қышқылдарының (ҰМҚ), әсіресе сірке қышқылының түзілуін арттыруға ықпал етеді.

Минералдық қоректендіру көрсеткіштері де толық теңгерілген. Рациондағы кальций мөлшері 52,1 г (104,2%), ал фосфор 33,8 г (105,6%) болды. Ca:P арақатынасының физиологиялық нормаға жақын болуы сүйек тінінің қалыптасуын, минералдық алмасуды және жалпы өнімділік көрсеткіштерінің жоғарылауын қамтамасыз етеді.

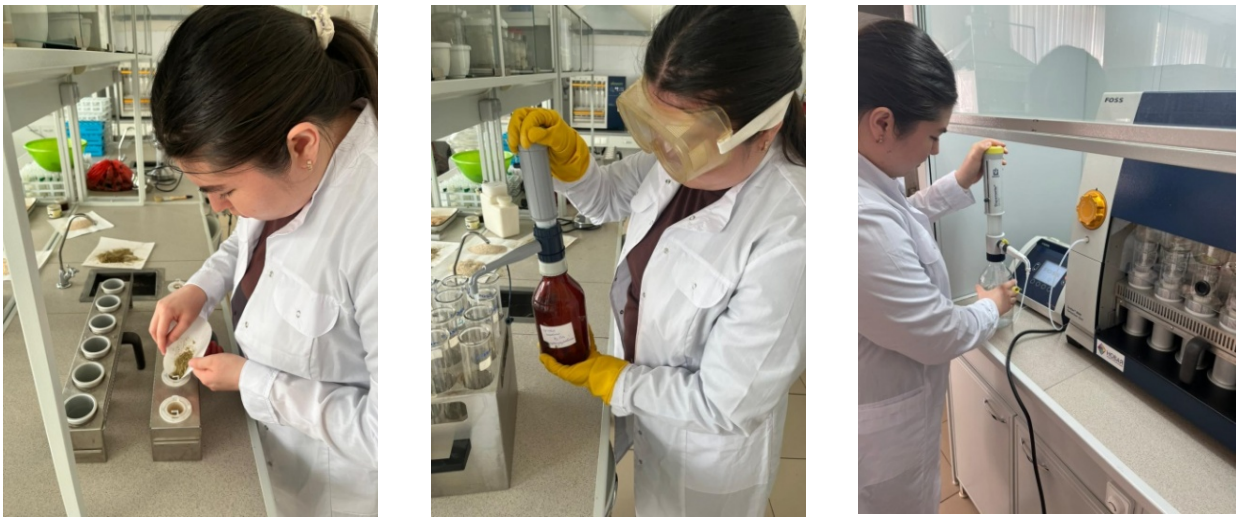
Жалпы алғанда, тәжірибеде қолданылған азықтандыру рационы алмасу энергиясы, шикі протеин, клетчатка фракциялары (NDF, ADF) және минералдық элементтер бойынша толық теңгерілген болып табылады. Рацион құрылымы ет бағытындағы бұқашықтардың физиологиялық қажеттіліктеріне толық сәйкес келеді және жоспарланған жоғары өнімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Азықтарды зоотехникалық талдау нәтижелері (кесте 2) шаруашылықтың жем-шөп базасының құндылығы жоғары екенін және бекітілген егжей-тегжейлі азықтандыру нормаларына толық сай келетінін дәлелдеді. Алынған мәліметтерді қолданыстағы мемлекетаралық стандарттармен салыстыра отырып бағалау барысында, зерттелген еркекшөп және шалғын пішендері шикі протеин мен шикі клетчатка мөлшері бойынша МемСТ 4808-87 (Пішен. Техникалық шарттар) талаптарының 1-ші және 2-ші сапа кластарына толық сәйкес келетіні, ал бидай мен арпа жармасының сапасы зернофуражға қойылатын нормативтік талаптарды толық қанағаттандыратыны анықталды.

2 кесте – «Жүргімбеков» ШҚ азықтарының химиялық құрамы мен құнарлылығы, % (M±m)

Азық атауы	Құрғақ зат	Шикі күл	Шикі протеин	Шикі клетчатка	Шикі май
Бидай жармасы	86,4±0,52	1,9 ±0,08	12,8 ± 0,15	2,4 ± 0,07	1,8 ± 0,05
Арпа жармасы	85,8 ±0,41	2,7 ±0,11	11,2 ± 0,12	5,1 ± 0,14	2,1 ±0,08
Еркекшөп пішені	84,2 ±0,65	6,1 ±0,22	8,4 ± 0,18	28,4 ± 0,42	1,6 ± 0,04
Шалғын пішені	83,9 ±0,71	7,2 ±0,31	9,1 ± 0,21	26,1 ± 0,38	1,9 ± 0,06

Алынған зоотехникалық талдау мәліметтері шаруашылықтың жем-шөп базасының құндылығы жоғары екенін айғақтайды. Мұндағы негізгі азық түрлері өздерінің қоректік құрамы бойынша қолданыстағы мемлекеттік стандарттардың талаптарына толық сәйкес келеді (сурет 2).



2 сурет – Азықтардың химиялық талдауы

Концентратты азықтардың ішінде бидай жармасы қоректілік көрсеткіштері бойынша жоғары нәтиже көрсетті. Оның құрамындағы шикі протеин деңгейі 12,8%-ды құрады, бұл өсіп келе жатқан бұқашық-

тардың ақуызға деген қажеттілігін толық қанағаттандыратын жоғары биологиялық құндылықтағы протеиннің жеткілікті мөлшерін айғақтайды. Сонымен қатар шикі клетчатка мөлшерінің төмен болуы (2,4%) бидайдың жоғары энергетикалық құндылығын дәлелдеп, концентраттың қорытылуын жақсартуға және энергияның тиімді жұмсалуына жағдай жасайды.

Арпа жармасының құрамында шикі протеин 11,2%, шикі клетчатка 5,1% және шикі май 2,1% деңгейінде анықталды. Арпадағы клетчатка мөлшерінің бидаймен салыстырғанда жоғары болуы месқарындағы микробиологиялық ашу процестерінің тұрақты жүруіне оң ықпал етеді. Бұл ретте арпа крахмалының біртіндеп ыдырауы ацидоз қаупін айтарлықтай төмендетіп, ағзада энергияның біркелкі босап шығуына септігін тигізеді.

Ірі азықтардың ішінде еркекшөп пішені құрғақ зат мөлшері (84,2%) және шикі клетчатканың жоғары үлесімен (28,4%) ерекшеленді. Клетчатканың бұндай оңтайлы мөлшері малдың күйіс қайыру процесін белсендіріп, месқарындағы целлюлозолитикалық микрофлораның қызметін күшейтеді. Соның нәтижесінде ағзада ұшпа май қышқылдарының (ҰМҚ) түзілуі артып, энергетикалық алмасу жақсарады. Еркекшөп пішені құрылымдық клетчатканың негізгі көзі ретінде бұқашықтардың ас қорыту жүйесінің физиологиялық қызметін тұрақтандыруда маңызды рөл атқарады.

Шалғын пішенінде құрғақ зат мөлшері 83,9%, шикі протеин 9,1%, шикі клетчатка 26,1% және шикі май 1,9% деңгейінде анықталды. Протеин мен май мөлшерінің еркекшөп пішенімен салыстырғанда жоғары болуы оның қоректік құндылығының басымдылығын көрсетеді. Бұл көрсеткіштер өсіп келе жатқан мал организмінің пластикалық материалдарға (ақуыздарға) қажеттілігін өтеп, бұлшықет тінінің қалыптасуына және тәуліктік салмақ өсімінің артуына оң әсер етеді.

Азықтардың құрғақ зат мөлшерінің 83,9–86,4% аралығында болуы олардың дер кезінде кептіріліп, сапалы сақталғанын айғақтайды. Бұндай оңтайлы ылғалдылық деңгейі азықтың микробиологиялық бұзылу қаупін төмендетіп, қоректік заттардың ұзақ уақыт бойы жоғалмай сақталуын қамтамасыз етеді.

Жалпы алғанда, зерттелген азықтардың химиялық құрамы энергия, шикі протеин, клетчатка фракциялары мен минералдық заттардың үйлесімді арақатынасын көрсетті. Концентратты азықтар бұқашықтарды жоғары энергиямен қамтамасыз етсе, ірі азықтар месқарын қызметін қалыпқа келтіріп, ас қорыту процестерінің тиімді жүруіне жағдай жасайды. Сондықтан бұл зерттелген азықтар жиынтығы ет бағытындағы бұқашықтарды интенсивті өсіру технологиясында пайдалану талаптарына толық сай келеді және шаруашылықтың жоғары өнімділікті қамтамасыз ететін толыққанды азықтық базасы ретінде бағаланады [10, б. 12; 11, б. 10; 12, б. 8; 13, б. 24].

Тәжірибелік бұқашықтар қанының клиникалық-биохимиялық көрсеткіштері. Қан – организмнің ішкі ортасының тұрақтылығын (гомеостаз) қамтамасыз ететін және жануарлардың өнімділік әлеуеті мен зат алмасу деңгейін тікелей көрсететін маңызды интерьерлік ұлпа болып табылады. Төлдер организміндегі зат алмасу процестерінің қарқындылығын анықтау мақсатында тәжірибелік бұқашықтардың қан сарысуына биохимиялық талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері кесте 3 көрсетілген.

3 кесте – Тәжірибелік бұқашықтардың қанының биохимиялық көрсеткіштері (M±m)

Клиникалық-биохимиялық көрсеткіштер	I топ	II топ	Физиологиялық норма
Жалпы ақуыз (TP), г/л	68,4 ± 1,12	74,2 ± 0,95*	60,0 – 85,0
Альбумин (ALBR), г/л	31,2 ± 0,45	34,8 ± 0,52*	28,0 – 38,0
Несепнәр (BUN), ммоль/л	3,4 ± 0,15	4,2 ± 0,18*	2,5 – 6,5
Креатинин (CREA), мкмоль/л	88,4 ± 2,15	96,2 ± 1,85*	70,0 – 120,0
АЛТ (ALT), Ед/л	26,4 ± 0,85	29,1 ± 0,92	15,0 – 45,0
АСТ (AST), Ед/л	64,2 ± 1,42	71,5 ± 1,65*	40,0 – 90,0
Сілтілі фосфатаза (ALP), Ед/л	115,2 ± 4,25	132,4 ± 3,97*	70,0 – 160,0
Глюкоза (GLUC), ммоль/л	2,6 ± 0,08	3,1 ± 0,09*	2,2 – 4,2
Кальций (CAL), ммоль/л	2,31 ± 0,05	2,48 ± 0,04*	2,20 – 2,80
Фосфор (PHOS), ммоль/л	1,52 ± 0,04	1,74 ± 0,03*	1,45 – 1,95

*Ескерту: * $p \leq 0,05$ бірінші топпен салыстырғанда.*

Биохимиялық талдау нәтижелері барлық жануарлардың қанындағы көрсеткіштер белгіленген физиологиялық нормалар шегінде болғанын айғақтады. Алайда, жоғары генетикалық әлеуетке ие II топтың бұқашықтарында ақуыздық және ферменттік алмасу көрсеткіштері норманың жоғарғы шекарасына жақын деңгейде байқалды. Қан сарысуындағы ақуыз алмасуы маркерлерін талдау барысында жалпы ақуыз деңгейі II топта 74,2 г/л құрап, I топтағы аналогтарымен салыстырғанда статистикалық тұрғыдан сенімді түрде жоғары болды ($p \leq 0,05$). Бұл альбумин фракциясының өсуімен (34,8 г/л) бірге ағзадағы синтетикалық және анаболикалық процестердің жоғары белсенділігін айғақтайды.

Сонымен қатар, II топта несепнәр мөлшерінің (4,2 ммоль/л) оңтайлы деңгейде болуы азық протеинінің бұлшықет ұлпасына тиімді трансформациялануын көрсетеді. Креатинин деңгейінің II топта басым болуы (96,2 мкмоль/л) бұлшықет массасының қарқынды дамып келе жатқандығының белгісі саналады.

АСТ (AST) ферменті белсенділігінің II топта жоғары болуы бұлшықет ұлпасының қарқынды қалыптасу кезеңіндегі аминоқышқылдардың жасушаішілік қайта аминдену (переаминирлену) реакцияларының жоғары деңгейін сипаттайды. Өз кезегінде, сілтілі фосфатаза (ALP) белсенділігінің артуы сүйек ұлпасының өсуімен және оның белсенді минералдануымен тікелей байланысты физиологиялық заңдылық болып табылады.

Алынған мәліметтерді тереңірек биохимиялық тұрғыдан талқылайтын болсақ, II топ бұқашықтарында АСТ (AST) ферментінің белсенділігі 71,5 ± 1,65 Б/л құрап, I топтағы аналогтарынан 11,3%-ға жоғары болды ($p \leq 0,05$). Бұл бұлшықет ұлпасындағы энергетикалық реакциялар мен трансаминдену процестерінің қарқындылығын айқындайды. Сүйек ұлпасының өсуімен және минералдық алмасумен тікелей байланысты сілтілі фосфатаза (ALP) ферментінің белсенділігі де II топта сенімді түрде жоғары болып, 132,4 ± 3,97 Б/л ($p \leq 0,05$) құрады, бұл төлдер қаңқасының белсенді даму кезеңін сипаттайды.

Организмді тез қолжетімді энергиямен қамтамасыз ететін негізгі көмірсу — глюкоза (GLUC) деңгейі де II топ бұқашықтарында жоғары болып, 3,1 ± 0,09 ммоль/л құрады, бұл I топ көрсеткішінен 19,2%-ға артық ($p \leq 0,05$). Бұл көрсеткіш жоғары генетикалық әлеуеті бар жануарлардың Қостанай облысының климаттық жағдайында стресске төзімділігін және азық энергиясын тиімді пайдаланатынын көрсетеді.

Минералдық алмасу маркерлерін талдау барысында қан сарысуындағы кальций (CAL) деңгейі II топта 2,48 ± 0,04 ммоль/л, ал фосфор (PHOS) мөлшері 1,74 ± 0,03 ммоль/л құрап, I топпен салыстырғанда сәйкесінше 7,3%-ға және 14,4%-ға жоғары болды ($p \leq 0,05$). Кальций мен фосфордың мұндай оңтайлы арақатынасы сүйек ұлпасының минералдану процесінің жоғары деңгейде екенін және бұқашықтардың қарқынды өсу серпінін толық қамтамасыз ете алатынын дәлелдейді.

Осылайша, интерьерлік маркерлерді кешенді талдау нәтижелері жоғары генетикалық әлеуеті бар бұқашықтардың (II топ) ақуыздық, ферменттік және минералдық алмасу деңгейінің анағұрлым қарқынды екендігіндігін айқындайды. Бұл өз кезегінде жануарлардың болашақта жоғары өсу энергиясы мен ет өнімділігін көрсетуіне берік биологиялық іргетас қалайды.

Тәжірибелік бұқашықтардың тірідей салмақ динамикасы мен өсу қарқындылығы. Рацион құнарлылығы мен қандағы белсенді зат алмасу процестері жануарлардың өсу қарқындылығына тікелей әсер етті. Тірідей салмақ динамикасын талдау (кесте 4) тәжірибелік II топтың көрсеткіштері I топтан барлық кезеңдерде озып отырғанын көрсетті. Азық құнарлылығын тиімді пайдаланған және жоғары генетикалық әлеуетке ие II топтың бұқашықтары 15 айлық жаста 424,2 кг салмаққа жетіп, I топтағы аналогтарынан 27,2 кг-ға статистикалық тұрғыдан сенімді түрде асып түсті ($p \leq 0,01$). Бұл мәліметтер қазақтың ақбас тұқымының жоғары өнімді генотиптері толық құнды азықтандыру жағдайында жем-шөпті ет өніміне қарқынды трансформациялай алатынын дәлелдейді.

4 кесте – Тәжірибелік бұқашықтардың тірідей салмақ динамикасы, кг (M ± m)

Жасы, ай	I топ	II топ
Туған кезде	26,9± 0,26	26,4 ±0,29
8 айда (енесінен бөлгенде)	207,3 ± 2,10	225,3 ± 1,73*
12 айда	308,7 ± 4,25	333,4 ±2,12**
15 айда	397,0 ± 4,71	424,2 ±3,97**

** p ≤0,05; **p ≤ 0,01 бірінші топпен салыстырғанда.*

Тәжірибелік төлдердің туған кездегі салмағын талдау барысында топтар арасында елеулі айырмашылықтар байқалмады. Алайда, жануарлар өсіп-жетілген сайын олардың шығу тегі мен генетикалық әлеуетінің өсу энергиясына әсері айқын байқала бастады. Салыстырмалы түрде алғанда, 8 айлық жаста (енесінен бөлу кезеңінде) II топтың бұқашықтары I топтағы қатарластарынан тірідей салмағы бойынша 18,0 кг-ға немесе 8,7%-ға басым түсті ($p \leq 0,05$).

Төлдердің өсу қарқындылығын тереңірек бағалау үшін абсолюттік және орташа тәуліктік өсім көрсеткіштері жалпыға бірдей қабылданған зоотехникалық әдістермен, ал салыстырмалы өсім қарқындылығы С. Броди (S. Brody) формуласы бойынша есептелді. 5-кестеде өсу қарқындылығының көрсеткіштері мен оларды биометрикалық өңдеу нәтижелері ұсынылған.

5 кесте – Бұқашықтардың өсу қарқындылығының көрсеткіштері (M ± m)

Көрсеткіштер	I топ	II топ
Туғаннан 15 айға дейінгі кезең:		
- абсолюттік өсім, кг	370,1± 5,42	397,8± 4,85*
- орташа тәуліктік өсім, г	811,6 ± 12,4	872,4 ± 14,1*
8 айдан 15 айға дейінгі кезең:		
- абсолюттік өсім, кг	189,7± 3,15*	198,9± 2,64*
- орташа тәуліктік өсім, г	890,6 ±15,8	933,8 ± 11,2*

*Ескерту: * p ≤ 0,05 бірінші топпен салыстырғанда.*

5-кестенің мәліметтері көрсеткендей, бүкіл өмірлік кезеңінде (туғаннан 15 айға дейін) жоғары генетикалық әлеуеті бар бұқашықтар (II топ) 397,8 кг абсолюттік салмақ қосып, I топтағы аналогтарынан 27,7 кг-ға алда болды. Осы кезеңдегі II топтың орташа тәуліктік өсімі 872,4 г құрап, I топ көрсеткішінен 7,5%-ға статистикалық тұрғыдан сенімді түрде асып түсті ($p \leq 0,05$).

Негізгі зерттеу жұмыстары жүргізілген 8 айдан 15 айға дейінгі кезеңде де осындай заңдылық сақталды. Оңтайландырылған және теңгерілген азықтандыру жағдайында II топ бұқашықтарының орташа тәуліктік өсімі 933,8 г-ға жетті, бұл I топпен салыстырғанда 43,2 г-ға немесе 4,8%-ға статистикалық тұрғыдан сенімді түрде жоғары ($p \leq 0,05$).

Осылайша, тірідей салмақ пен өсу қарқындылығының серпінін кешенді бағалау нәтижелері Қостанай облысының шаруашылық жағдайында «элита-рекорд» класындағы аналықтардан алынған қазақтың ақбас тұқымды бұқашықтарының генетикалық тұрғыдан өсу энергиясы мен азықты етке трансформациялау қабілеті жоғары екенін толық дәлелдейді. Бұл нәтижелер біздің алдыңғы бөлімде қарастырған қан сарысуындағы жалпы ақуыз, альбумин мен креатинин деңгейінің жоғары болуы туралы биохимиялық тұжырымдарымызбен толық үйлеседі.

Қорытынды. Жүргілген ғылыми-шаруашылық тәжірибе мен зертханалық зерттеулердің нәтижелері негізінде келесідей негізгі тұжырымдар жасалды:

1. «Жүргімбеков» ШҚ жағдайында пайдаланылатын негізгі азықтардың (бидай, арпа, еркекшөп және шалғын пішендері) химиялық құрамы мен құнарлылығы Венде схемасы бойынша зерттеліп, олардың алмасу энергиясы, шикі протеин және клетчатка фракциялары (NDF, ADF) бойынша ет бағытындағы малды азықтандырудың заманауи зоотехникалық нормативтеріне толық сәйкес келетіні анықталды.

2. Оңтайландырылған және теңгерілген азықтандыру рационы тәжірибелік бұқашықтардың клиникалық-биохимиялық қан көрсеткіштерінің тиісті деңгейде сақталуын қамтамасыз етті. Барлық жануарлардың негізгі интерьерлік маркерлері (TP, ALBR, BUN, CREA, ALT, AST, ALP, GLUC, CAL, PHOS) белгіленген физиологиялық норма шегінде байқалды.

3. Жоғары генетикалық әлеуетке ие II топтың бұқашықтарында ақуыздық (жалпы ақуыз – 74,2 г/л, альбумин – 34,8 г/л, креатинин – 96,2 мкмоль/л) және ферменттік алмасу процестерінің норманың жоғарғы шекарасында қарқынды жүруі ағзадағы анаболизм мен бұлшықет ұлпасының өсуін белсендіретін негізгі ішкі фактор болып табылады.

Қазақтың ақбас тұқымының жоғары өнімді генотиптерін теңгерілген рациондармен азықтандыру деңгейімен ұштастыру 15 айлық жаста 424,2 кг-ға дейінгі жоғары тірілей салмаққа жетуге және қарқынды өсу кезеңінде тәулігіне 933,8 г орташа тәуліктік өсім алуға мүмкіндік берді.

Қорыта айтқанда, қазақтың ақбас тұқымының жоғары өнімді генотиптерін толық құнды азықтандырумен қамтамасыз ету жануарлардың оңтайлы биохимиялық мәртебесін кепілдендіреді және олардың бойындағы өсу әлеуетін барынша толық іске асыруға жол ашады. Бұл тәсілдерді өндіріске енгізу мемлекеттік деңгейде қабылданған бағдарламалар мен мал шаруашылығын дамытудың кешенді жоспарларының міндеттерін тиімді орындауға септігін тигізеді.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. **Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін дамыту жөніндегі 2021–2025 жылдарға арналған ұлттық жобасы** [Мәтін]: Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2021 жылғы 12 қазандағы № 725 қаулысымен бекітілген. – Нұр-Сұлтан, 2021. – 64 б.

2. **Қазақстан Республикасында мал шаруашылығын дамытудың 2026–2030 жылдарға арналған кешенді жоспары** [Мәтін]: Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2024 жылғы 28 желтоқсандағы № 1152 қаулысымен бекітілген. – Астана, 2024. – 35 б.

3. **Амерханов, Х.А. Генетический потенциал отечественных мясных пород крупного рогатого скота и методы его реализации** [Текст] / Х.А. Амерханов, Ф.Г. Каюмов // Зоотехния. – 2021. – № 3. – С. 2–7.

4. **Губашев, Н.М. Молочная и мясная продуктивность казахской белоголовой породы различных внутрипородных типов** [Текст] / Н.М. Губашев, Р.М. Кулбаев // 3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация. – 2026. – № 4. – С. 32–39.

5. **Жумашев, Ж.Ж. Гематологические показатели и естественная резистентность молодняка мясного скота в условиях резко континентального климата** [Текст] / Ж.Ж. Жумашев // Наука и образование. – Орал, 2022. – № 2 (67). – С. 112–118.

6. **Кажгалиев, N.Zh. Совершенствование скота казахской белоголовой породы селекционными методами** [Текст]: монография / Н.Ж. Кажгалиев. – Астана, 2023. – 181 с.

7. **Карымсаков, Т.Н. Селекционно-генетический анализ результатов испытания по собственной продуктивности бычков казахской белоголовой породы** [Текст] / Т.Н. Карымсаков [и др.] // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. – 2025. – № 3 (127). – С. 279–285.

8. **Насамбаев, Е.Г. Выращивание молодняка казахской белоголовой породы в различных условиях** [Текст] / Е.Г. Насамбаев [и др.] // Наука и образование. – Орал: БҚАТУ, 2024. – № 2. – С. 15–21.

9. **Меркурьева, Е.К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных** [Текст] / Е.К. Меркурьева. – Москва: Колос, 1970. – 423 с.

10. **Бидай. Техникалық шарттар** [Мәтін]: ГОСТ 9353-2016. – Введ. 2016-01-01. – Мәскеу: Стандартинформ, 2016. – 12 б.

11. **Арпа. Техникалық шарттар** [Мәтін]: ГОСТ 28672-2019. – Введ. 2019-01-01. – Мәскеу: Стандартинформ, 2019. – 10 б.

12. **Пішен. Техникалық шарттар** [Мәтін]: ГОСТ 4808-87. – Введ. 1988-01-01. – Мәскеу: Издательство стандартов, 1988. – 8 б.

13. **Өсімдік азықтары. Сынамаларды іріктеу мерзімдері мен әдістері** [Мәтін]: ГОСТ Р 55452-2021. – Введ. 2021-01-01. – Мәскеу: ФГБУ «РСТ», 2021. – 24 б.

REFERENCES:

1. **Kazakstan Respublikasynyn agroonerkasiptik keshenin damytu zhonindegi 2021–2025 zhyldarga arnalgan ulttyk zhobasy** [National project for the development of the agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan for 2021–2025]. Approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan no. 725 dated October 12, 2021, Nur-Sultan, 2021, 64 p. (In Kazakh)

2. **Kazakstan Respublikasynda mal sharuashylygyn damytudyn 2026–2030 zhyldarga arnalғan keshendi zhospary** [Comprehensive plan for the development of livestock breeding in the Republic of Kazakhstan for 2026–2030]. Approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan no. 1152 dated December 28, 2024. Astana, 2024, 35 p. (In Kazakh)

3. **Amerhanov H.A., Kayumov F.G. Geneticheskij potencial otechestvenny'h myasny'h porod krupnogo rogatogo skota i metody' ego realizacii** [Genetic potential of domestic beef cattle breeds and methods for its implementation]. *Zootehniya*, 2021, no. 3, pp. 2–7. (In Russian)

4. **Gubashev N.M., Kulbaev R.M. Molochnaya i myasnaya produktivnost' kazahskoj belogolovoj porody' razlichny'h vnutriporodny'h tipov** [Milk and meat productivity of different intra-breed types of the kazakh white-headed cattle]. *3i: intellect, idea, innovation*, 2026, no. 4, pp. 32–39. (In Russian)

5. **Zhumashev Zh.Zh. Gematologicheskie pokazateli i estestvennaya rezistentnost' molodnyaka myasnogo skota v usloviyah rezkokontinental'nogo klimata** [Hematological parameters and natural resistance of young beef cattle in a sharply continental climate]. *Nauka i obrazovanie*, Oral, 2022, no. 2 (67), pp. 112–118. (In Russian)

6. **Kazhgaliev N.Zh. Sovershenstvovanie skota kazahskoj belogolovoj porody' selekcionny'mi metodami** [Improving Kazakh Whitehead cattle by breeding methods]. Astana, 2023, 181 p. (In Russian)

7. **Karymsakov T.N., et al. Selekcionno-geneticheskij analiz rezul'tatov ispy'taniya po sobstvennoj produktivnosti by'chkov kazahskoj belogolovoj porody'** [Selection and genetic analysis of the results of testing the own productivity of Kazakh Whitehead bulls]. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotehnicheskogo universiteta im. S. Seifullina*, 2025, no. 3 (127), pp. 279–285. (In Russian)

8. **Nasambaev E.G., et al. Vy'rashhivanie molodnyaka kazahskoj belogolovoj porody' v razlichny'h usloviyah** [Rearing of young Kazakh Whitehead cattle under various conditions]. *Nauka i obrazovanie*, Oral, West Kazakhstan Agrarian-Technical University, 2024, no. 2, pp. 15–21. (In Russian)

9. **Merkuryeva E.K. Biometriya v selekcii i genetike sel'skohozyajstvenny'h zhivotny'h** [Biometrics in selection and genetics of agricultural animals]. Moscow, Kolos, 1970, 423 p. (In Russian)

10. **Bidaj. Tehnikalyk sharttar** [Wheat. Technical conditions]. GOST 9353-2016, date of implementation: 2016-01-01. Moscow, Standartinform, 2016, 12 p. (In Kazakh)

11. **Agratehnikalyk sharttar** [Barley. Technical conditions]. GOST 28672-2019, date of implementation: 2019-01-01. Moscow, Standartinform, 2019, 10 p. (In Kazakh)

12. **Pishen. Tehnikalyk sharttar** [Hay. Technical conditions]. GOST 4808-87, date of implementation: 1988-01-01. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1988, 8 p. (In Kazakh)

13**. Osimdik azyktary. Synamalardy irikteu merzimderi men adisteri** [Plant feeds. Sampling time and methods]. GOST R 55452-2021, date of implementation: 2021-01-01. Moscow, FSBI "RST", 2021, 24 p. (In Kazakh)

Жіберілген күні: 25 маусым 2026 ж. **Қабылданған күні:** 10 тамыз 2026 ж.
Жарияланған күні: 30 қыркүйек 2026 ж.

Авторлар турал мәліметтер:

Абдильдина Адемай Муратовна – 7М08201 – «Мал шаруашылығы өнімдерін өндіру технологиясы» білім беру бағдарламасының 1-оқу жылы магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов көш., 47, тел.: 87058086748, e-mail: ademay6@mail.ru.*

Айтжанова Индира Нурлановна – PhD докторы, Азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов көш., 47, тел.: 87027972638, e-mail: aitzhanova.in@ksu.edu.kz.

Абдильдина Адемай Муратовна – магистрант 1-го года обучения образовательной программы 7М08201 – Технология производства продуктов животноводства, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтурсынова, 47, тел.: 87058086748; e-mail: ademay6@mail.ru.*

Айтжанова Индира Нурлановна – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры пищевой безопасности и биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Байтурсынова, 47, тел.: 87027972638, e-mail: aitzhanova.in@ksu.edu.kz.

Abdildina Ademay Muratovna – 1st year Master's student, "7M08201 – Technology of livestock production" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., tel.: 87058086748,, e-mail: ademay6@mail.ru.*

Aitzhanova Indira Nurlanovna – PhD, Associate Professor, Department of food safety and biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 Baitursynov Str., tel.: 87027972638, e-mail: aitzhanova.in@ksu.edu.kz.

МРНТИ 68.35.37
УДК 633.85:631
https://doi.org/10.52269/SEPT2631132

СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В УСЛОВИЯХ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Зинченко А.В. – магистр сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции сельскохозяйственных культур, ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное», с. Заречное, Республика Казахстан.*

Тыныспаева Б.И. – старший научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур, ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное», с. Заречное, Республика Казахстан.

Ергазина Д.С. – магистр технических наук, научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур, ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное», с. Заречное, Республика Казахстан.

Жамалова Д.Б. – кандидат сельскохозяйственных наук, доктор PhD, ассистент профессора кафедры агрономии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Целью работы является изучение продуктивности и масличности льна масличного различных образцов (сортов) в условиях Костанайской области и выявление наиболее перспективных из них для дальнейшего использования в производстве и селекции.

В статье представлены результаты комплексного изучения сортовых особенностей льна масличного в агроклиматических условиях Костанайской области. Выполнен сравнительный анализ сортов по основным ценным сельскохозяйственным признакам. Экспериментальные исследования проводились на фоне минимальной обработки почвы на полевом стационаре лаборатории селекции сельскохозяйственных культур СХОС «Заречное», расположенном в засушливой степной местности Костанайской области.

Полученные данные показали, что выбор сорта является ключевым фактором обеспечения стабильной урожайности и высокой масличности. Выделены сорта, демонстрирующие высокую продуктивность, устойчивость к полеганию и неблагоприятным климатическим условиям, а также способность поддерживать биологическую стабильность посевов.

Результаты работы имеют практическую ценность, они позволяют рекомендовать наиболее адаптированные сорта льна масличного для включения в севообороты северного степного региона, направленные на повышение рентабельности производства и устойчивости агроэкосистем. Данные рекомендации могут быть использованы при планировании сортовой политики хозяйств и разработке стратегий интенсификации масличного производства в засушливых районах.

Ключевые слова: *лен масличный, сорт, урожайность, масса 1000 семян, вегетационный период, масличность.*

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫ ЖАҒДАЙЫНДА МАЙЛЫ ЗЫҒЫРДЫ ӨСІРУДІҢ СОРТТЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Зинченко А.В. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ауыл шаруашылығы дақылдарының селекциясы зертханасының меңгерушісі, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Заречное ауылы, Қазақстан Республикасы.*

Тыныспаева Б.И. – аға ғылыми қызметкер, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Заречный ауылы, Қазақстан Республикасы.

Ергазина Д.С. – ғылыми қызметкер, техника ғылымдарының магистрі, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Заречный ауылы, Қазақстан Республикасы.

Жамалова Д.Б. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, PhD докторы, агрономия кафедрасы профессорының ассистенті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ, Қазақстан Республикасы.

Эксперименттік зерттеулер «Заречное» СХОС ауыл шаруашылығы дақылдарының селекциясы зертханасының полевой стационарында, Қостанай облысының құрғақ дала аймағында жүргізілді.

Зерттеудің мақсаты – Қостанай облысының жағдайында майлы зығырдың әртүрлі үлгілері (сорттары) өнімділігі мен майлылығын зерттеу және олардың ішінен өндіріс пен селекцияда әрі қарай пайдалану үшін ең перспективті сорттарды анықтау.

Мақалада Қостанай облысының агроклиматтық жағдайында майлы зығырдың сорттық ерекшеліктерін кешенді зерттеудің нәтижелері ұсынылған. Сорттарға негізгі құнды агрономиялық белгілері бойынша салыстырмалы талдау жүргізілді. Далададағы зерттеулер топырақты минималды өңдеу жағдайында, аймақтың құрғақ климатының ерекшеліктерін ескере отырып жүргізілді.

Алынған деректер көрсеткендей, сортты таңдау тұрақты өнімділік пен жоғары майлылықты қамтамасыз етудегі негізгі фактор болып табылады. Жоғары өнімділік көрсететін, жатып қалуға және қолайсыз климаттық жағдайларға төзімді, сонымен қатар егіс алқаптарының биологиялық тұрақтылығын сақтауға қабілетті сорттар анықталды.

Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңызы зор: олар солтүстік дала аймағының ауыспалы егіс жүйесіне ең жақсы бейімделген майлы зығыр сорттарын енгізуге мүмкіндік береді, бұл өндірістің рентабельдігін арттыруға және агроэкожүйелердің тұрақтылығын қамтамасыз етуге бағытталған. Аталған ұсыныстар шаруашылықтардың сорттық саясатын жоспарлау мен құрғақ аймақтардағы майлы зығыр өндірісін интенсификациялау стратегияларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: *майлы зығыр, сорт, өнімділік, майлылық, 1000 дәннің салмағы, өсу кезеңі.*

VARIETAL CHARACTERISTICS OF OILSEED FLAX CULTIVATION UNDER THE CONDITIONS OF KOSTANAY REGION

Zinchenko A.V. – Master of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Crop Breeding, Agricultural Experimental Station «Zarechnoye» LLP, Zarechnoye village, Republic of Kazakhstan.*

Tynyspayeva B.I. – Senior Researcher, Agricultural Experimental Station «Zarechnoye» LLP, Zarechnoye village, Republic of Kazakhstan.

Yergazina D.S. – Master of Technical Sciences, Researcher, Agricultural Experimental Station «Zarechnoye» LLP, Zarechnoye village, Republic of Kazakhstan.

Zhamalova D.B. – Candidate of Agricultural Sciences, PhD, Assistant Professor, Department of agronomy, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

The aim of this study is to examine the productivity and oil content of various oilseed flax samples (varieties) under the conditions of the Kostanay region, and to identify the most promising ones for further use in production and breeding. The article presents the results of a comprehensive study of the varietal characteristics of oilseed flax in the agro-climatic conditions of the Kostanay region. A comparative analysis of the varieties was conducted based on key valuable agricultural traits. The experimental studies were conducted under conditions of minimum tillage at the field station of the Laboratory of Crop Breeding of the Zarechnoye Agricultural Experimental Station, located in the arid steppe zone of the Kostanay region. The results showed that variety selection is a key factor in ensuring stable yields and high oil content. Varieties exhibiting high productivity, resistance to lodging and adverse climatic conditions, and the ability to maintain the biological stability of crops were identified. The findings have practical significance, allowing the most adapted oilseed flax varieties to be recommended for inclusion in crop rotations in the northern steppe region to improve production profitability and agroecosystem sustainability. These recommendations can be used in planning varietal policies of farms and in developing strategies for the intensification of oilseed flax production in arid areas.

Key words: *oilseed flax, variety, yield, 1000-seed weight, growing season, oil content.*

Введение. Лён масличный (Linum usitatissimum L.) занимает значимое место в структуре сельскохозяйственного производства благодаря своей универсальности и высокой биологической ценности. Его семена содержат до 48% масла, отличающегося высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, особенно омега-3 (альфа-линоленовой кислоты), которые играют важную роль в профилактике сердечно-сосудистых и воспалительных заболеваний.

Кроме того, лён богат пищевыми волокнами, белками, лигнанами и антиоксидантами, что делает его ценным компонентом функционального питания и диетологии [2, с.28].

С экономической точки зрения, лён масличный является высокорентабельной культурой, особенно в засушливых регионах, таких как Северный Казахстан, где он демонстрирует хорошую засухоустойчивость, неприхотливость к условиям произрастания и может успешно выращиваться в системах сберегающего земледелия. В условиях рыночной экономики он представляет интерес как экспортноориентированная культура: масличное сырьё, масло и шрот пользуются устойчивым спросом на международных рынках [3, с.44].

Включение льна в севооборот способствует оздоровлению агроценозов, разрыву фитосанитарного цикла многих болезней и вредителей зерновых культур. Его корневая система улучшает структуру почвы, а короткий вегетационный период позволяет эффективно использовать продуктивную влагу.

Лен масличный представляет собой не только источник качественного сырья для пищевой и перерабатывающей промышленности, но и стратегический фактор повышения эффективности земледелия, агроэкологической устойчивости и продовольственной безопасности [1, с.45].

В последние годы Казахстан демонстрирует значительные колебания в посевных площадях и урожайности льна масличного, что отражает влияние как рыночных факторов, так и погодных условий. В 2022 году посевные площади льна достигли 1,34 млн га, однако в 2023 году они сократились до 726 тыс. га, что обусловлено ужесточением требований ЕС к содержанию пестицидов и снижением цен на масличные культуры в предыдущем сезоне. Однако в 2024 году наблюдается восстановление посевных площадей до 971,6 тыс. га, что свидетельствует о росте интереса аграриев к данной культуре [3, с.45; 5, с.55].

Лён масличный (*Linum usitatissimum L.*) – однолетняя сельскохозяйственная культура семейства льновые (Linaceae), выращиваемая преимущественно ради получения масла из семян. Отличается высокой адаптивностью к климатическим условиям, что делает его перспективной культурой для возделывания в засушливых и умеренно-континентальных регионах, в том числе в Северном Казахстане.

Лён отличается коротким вегетационным периодом (в среднем 80–100 дней), высокой устойчивостью к засухе и сравнительно низкими требованиями к плодородию почв. Однако он чувствителен к уплотнению почвы, избытку влаги и кислым условиям. Требует соблюдения севооборота и защиты от болезней и вредителей, в частности фузариоза, септориоза, льняной блошки и др. [4, с.27; 12, с.13].

Лён масличный является одной из ключевых масличных культур, обеспечивающих не только растительное масло высокого качества, но и семена с ценным биохимическим составом, что делает его важным элементом агропромышленного производства. Рост мирового и национального спроса на растительные масла и биопродукты повышает значимость повышения урожайности и масличности льна [8, с.4].

Костанайская область характеризуется специфическими агроклиматическими условиями: засушливым климатом, резкими колебаниями температур и неравномерным распределением осадков в течение вегетационного периода. Эти факторы существенно влияют на продуктивность и масличность культур. В таких условиях особенно важно использовать сорта льна масличного, обладающие высокой адаптивностью, устойчивостью к абиотическим стрессам и способностью формировать стабильный урожай [6, с.62, 9, с.195].

Анализ отечественного и мирового опыта показывает, что сортовые особенности являются определяющим фактором эффективности производства льна масличного. Разные сорта отличаются по вегетационному периоду, устойчивости к полеганию, засухе, вредителям и болезням, а также по продуктивности и масличности семян [10, с.23].

Недостаточное изучение сортовых адаптаций в условиях северного степного региона приводит к снижению стабильности урожая и экономической эффективности возделывания льна. В современных условиях изменения климата и увеличения частоты засушливых периодов особое значение приобретает поиск и внедрение сортов, способных эффективно использовать природные ресурсы региона и сохранять высокую продуктивность при воздействии неблагоприятных факторов [7, с.86; 8, с.13].

Таким образом, изучение сортовых особенностей льна масличного в условиях Костанайской области приобретает особую актуальность. Оно позволяет выявить перспективные сорта для включения в севообороты, обеспечивающие повышение урожайности, масличности и устойчивости посевов, что способствует оптимизации производственных процессов и развитию устойчивого масличного производства в регионе [11, с.87].

Целью наших исследований, описанных в данной работе, заключается в определении продуктивности и масличности семян льна масличного, изученных в условиях Костанайской области.

Задачи: изучить сортовые особенности и хозяйственно ценные признаки различных образцов льна масличного в условиях Костанайской области, оценить адаптивность сортов к агроклиматическим условиям северной степной зоны, включая устойчивость к неблагоприятным факторам среды, провести сравнительную оценку сортов по показателям продуктивности, урожайности и содержанию масла в семенах.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на полевом стационаре лаборатории селекции сельскохозяйственных культур СХОС «Заречное», в условиях засушливой степи Костанайской области. Объектом изучения

служили 45 сортов льна масличного из мировой коллекции. За стандарт принят районированный сорт Казар.

Закладка опытов, учеты и наблюдения будут проведены согласно методическим разработкам и указаниям Б.А. Доспехова. Наблюдения и оценка образцов льна масличного по морфологическим, хозяйственно-ценным признакам, учеты и наблюдения в полевых опытах, а также математическая обработка результатов исследований выполнены в соответствии с «Методическими указаниями по изучению коллекции льна вида L. Usitatissimum» [9, с28].

Почва опытного участка – чернозем южный, среднесуглинистый. Содержание гумуса (по Тюрину) в пахотном горизонте (0–30 см) не превышает 3%, азота- низкое (19,2 мг/кг), доступного фосфора-среднее (28 мг/кг), калия- высокое (331 мг/кг почвы).

Предшественник – гербицидный пар. Закрытие влаги производилось по мере достижения физической спелости почвы вращающей бороной, не нарушающей мульчирующий слой. За 8–9 дней до посева проводилась химическая прополка гербицидом «Ураган форте», норма расхода – 1,5-2,0 л/га. Посев проводился во второй и третьей декаде мая вручную.

Норма высева семян – 6,5-7 млн. всхожих семян на 1 га, на глубину 2-3 см. Способ посева – рядовой дисковыми сеялками с междурядьем 15 см. Площадь учетной делянки – 10 м^2, повторность 4-х кратная. Посев рандомизированный.

Описание и распределение сортов на группы по морфобиологическим показателям проводили в соответствии с методическими указаниями Kutuzova и Pitko и Международным классификатором вида Linum usitatissimum L. [10, с.32].

Уборочные работы проводятся герметизированным комбайном «Винтерштайгер-Классик» в фазу «побурение коробочек», а влажность семян в пределах 14-16%, высота среза – 10-15 см. Уборку провели с немедленной сушкой вороха до 9% их влажности.

Результаты и обсуждение. Климат в зоне резко континентальный: жаркое и сухое лето, холодная малоснежная зима. Годовой диапазон температур воздуха составляет в среднем 75°С; в отдельные годы она достигает 88°С. Зимой минимальная температура воздуха часто опускается до 35-40°С, летом абсолютная температура составляет +41-43°С.

Продолжительность безморозного периода колеблется от 108 до 130 дней. Характерной особенностью континентального климата является преобладание осадков в теплый период (май-октябрь), когда выпадает 60-80% годовой нормы. Максимум осадков выпадает во второй половине лета, чаще всего в июле. Индекс влажности (ИВВ) в регионе колеблется от 0,9 на севере до 0,5 на юге.

Метеорологические показатели за годы исследований имели общую тенденцию высоких показателей температуры и дефицита осадков в 2021 году, который являлся экстремально засушливым. На фоне менее высокого температурного фона 2022 год характеризовался также недобором осадков. Погодные условия в 2023 году в начале вегетационного периода складывались благоприятно, однако во второй декаде августа выпало большое количество осадков, что неблагоприятно сказывалось на созревании и уборке культуры. В период вегетации льна наиболее влагообеспеченным был 2024 год, за период май-август набрал 270–295 мм осадков. Метеорологические условия 2025 года характеризуются как оптимальные за весь период вегетации льна масличного (рисунок 1, 2).

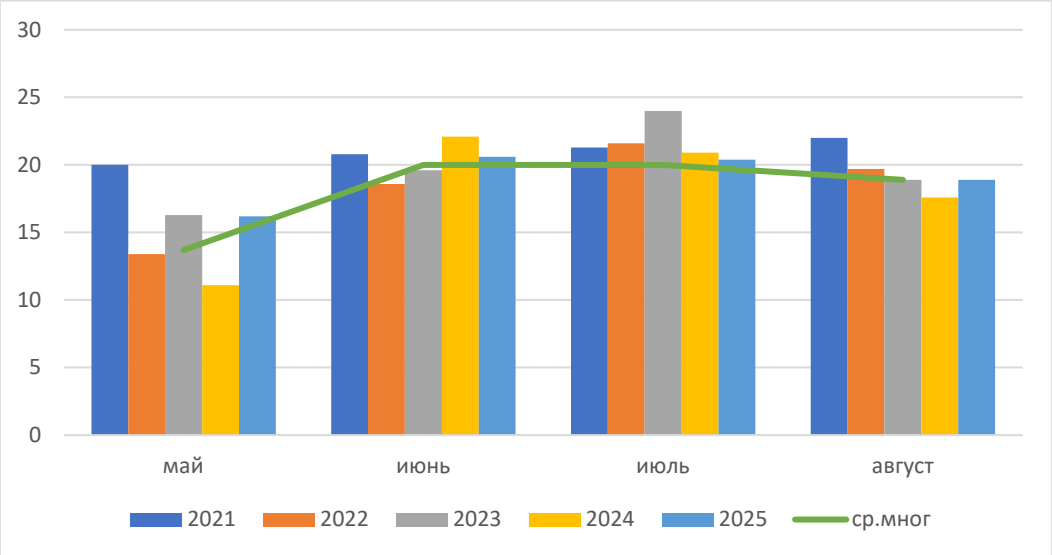


Рисунок 1 – Динамика распределения температур
в период вегетации льна масличного, ^{O}С, 2021-2025 гг.

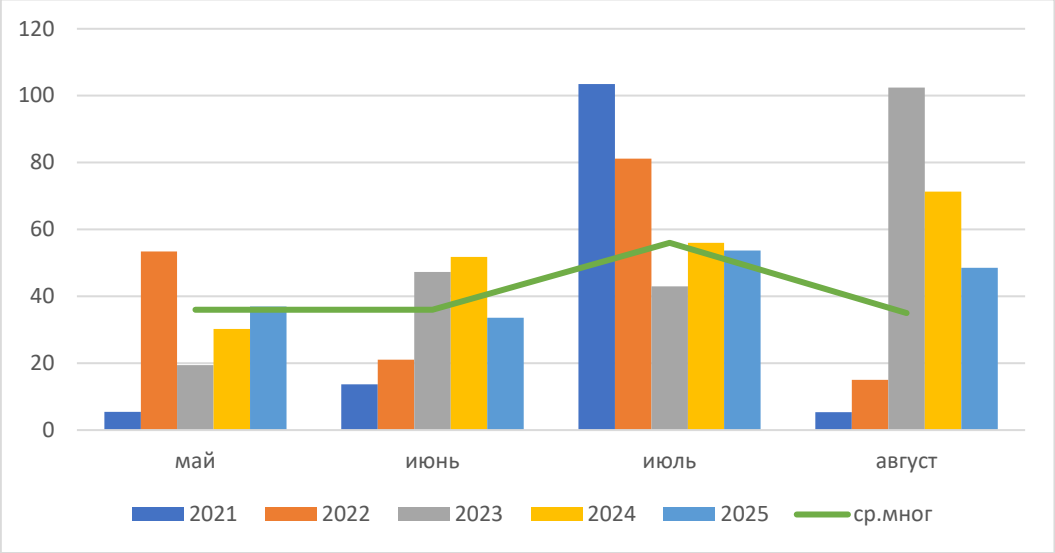


Рисунок 2 – Динамика распределения осадков
в период вегетации льна масличного, мм, 2021-2025 гг.

Анализ метеорологических условий вегетационного периода позволяет глубже понять особенности роста и развития льна масличного. Температурный режим и количество осадков в значительной степени влияют на темпы прохождения фенологических фаз различных сортов культуры.

Следует отметить, что количество атмосферных осадков в течение всех трех лет исследований было выше в районе села Заречное по сравнению с другими исследуемыми участками, что объясняется локальными особенностями рельефа и микроклимата. Эти данные подчеркивают необходимость выбора сортов льна масличного с высокой адаптивностью к различным уровням влагообеспеченности и температурного стресса, а также позволяют корректировать агротехнические мероприятия в зависимости от метеорологических условий каждого года.

Учитывая экстремальные колебания температуры и неоднородное распределение осадков в регионе, изучение сортовых особенностей льна масличного приобретает особую практическую значимость. Выявление сортов, способных сохранять высокую продуктивность и масличность в условиях засухи, полегания и температурного стресса, позволяет оптимизировать посевные площади и повысить эффективность агропроизводства.

Климатические данные за годы исследований обеспечивают научное обоснование выбора наиболее адаптированных сортов и корректировки агротехнических мероприятий, что способствует стабильности урожайности и устойчивому развитию масличного производства в условиях Костанайской области.

Анализ влияния погодных условий на формирование урожая позволяет определить реакцию различных сортов на изменяющиеся условия среды, выявить наиболее устойчивые генотипы и установить их хозяйственную ценность. Полученные результаты имеют важное практическое значение для совершенствования сортовой структуры посевов, повышения эффективности возделывания льна масличного и снижения рисков, связанных с неблагоприятными климатическими факторами.

При проведении фенологических наблюдений за время исследований (2021-2025 гг.) были отмечены сорта с наиболее коротким вегетационным периодом: Кустанайский янтарь, Флиз и Бизон – 75 сут., Славячил, Брестский, Taurus, Светлячок, Карабалыкский 7 и Сибирский 38854–76 сут., Костанайский-11, Libro, Agata, Антарес, Rinota, Нилин, Лирина и Палтин- 77 сут, при показателе стандарта Казар –79 сут. (таблица 1).

Таблица 1 – Основные хозяйственные признаки выделившихся сортов льна масличного, 2021-2025 гг.

Название сорта	Вегетационный период, сут.	Урожайность, ц/га	Масличность, %	Масса 1000 семян, г
Казар, St	79	17,6	41,6	6,8
Алтын	79	20,8	42,3	6,9
Костанайский-11	77	20,1	41,0	6,7
Славячил	76	16,9	41,8	6,6
Сибирский 38384	79	12,4	42,7	7,2
Кустанайский янтарь	75	16,6	41,5	5,7
Сюрприз	82	17,8	44,2	5,5

Продолжение таблицы 1

Бизон	75	17,2	42,4	5,3
Светлячок	78	19,1	38,0	6,4
Taurus	77	16,9	40,3	5,4
Северный	78	18,2	42,5	6,0
Карабалыкский 7	77	17,0	40,7	5,3
Libra	77	17,9	38,7	5,7
Брестский	76	18,5	42,0	5,7
Agata	77	17,6	41,5	5,9
Флиз	75	18,1	42,4	7,3
Rinota	77	16,4	42,0	6,0
Сибирский 38854	76	16,5	43,0	6,5
Антарес	77	18,1	41,5	5,5
Нилин	77	18,0	41,3	5,3
Фрунзенец	79	17,1	43,0	6,1
Палтин	77	17,8	42,2	5,5
Легур	80	19,1	41,8	5,8
Айсберг	80	20,6	42,0	6,4
Канадский	79	17,2	41,6	7,0
Лирина	77	18,1	43,6	6,4

Особенности прохождения вегетационного периода, включая сроки наступления и продолжительность основных фенологических фаз, оказывают непосредственное влияние на формирование урожайности льна масличного.

Раннее или позднее появление всходов, скорость роста и развития растений в фазу цветения и формирования семян определяют эффективность использования влаги и питательных веществ почвы, устойчивость к полеганию и засухе, а также качество и количество получаемого масла. Таким образом, изучение фенологических особенностей различных сортов позволяет оптимизировать агротехнические мероприятия, планировать сроки посева и уборки, а также выбирать сорта с наибольшим потенциалом продуктивности в конкретных агроклиматических условиях Костанайской области.

По урожайности в целом за 5 лет исследований (2021-2025 гг.) при показателе стандарта 17,6 ц/га, выделились сортообразцы: Алтын – 20,8 ц/га, Костанайский – 11-20,1 ц/га, Сюрприз – 17,8 ц/га, Светлячок – 19,1 ц/га, Северный (Алматы) – 18,2 ц/га, Брестский – 18,5 ц/га, Флиз – 18,1 ц/га, Libra – 17,9 ц/га, Легур – 19,1 ц/га, Айсберг – 20,6 ц/га, Лирина – 18,1 ц/га. Превышение составило от 0,2 до 2,5 ц/га. На уровне стандарта оказался сорт Исилькульский – 17,6 ц/га.

Наряду с урожайностью, важным показателем эффективности возделывания льна масличного является его масличность, определяющая хозяйственную ценность культуры. Масличность, как и урожайность, формируется под воздействием комплекса факторов, включая погодные условия, особенности сорта и агротехнику. Особое внимание уделяется взаимодействию генетического потенциала сортов и условий внешней среды, которое влияет на накопление масла в семенах и стабильность его содержания в разные годы.

Изучение содержания масла в семенах различных сортов льна, выращенных в условиях СХОС «Заречное», позволяет не только оценить их адаптационный потенциал, но и выявить наиболее продуктивные и высокомасличные сорта, обеспечивающие рентабельность производства и возможность включения в севообороты северного степного региона.

Полученные данные имеют практическое значение для селекционной работы, планирования сортовой политики хозяйств и разработки рекомендаций по интенсификации масличного производства.

По содержанию масла в семенах льна масличного за период исследований были выделены сортообразцы: Исток – 44,8%, Лирина – 43,6%, Бирюза, Сибирский 38854 и Фрунзенец – 43,0%, Scorpio – 42,9%, Сибирский 38384 – 42,7%, Ручеек – 42,6%, Сокол, Северный (Алматы) и Канадский – по 42,5%, Бизон – 42,4 %, Алтын – 42,3%, Палтин – 42,2%, Брестский, Радуга, Bingo, Айсберг и Северный по 42,0%, Славячил и Легур по 41,8%, Даник – 41,7%, они превысили показатель стандарта 41,6% на 3,2 и 0,1%.

Помимо урожайности и масличности, значимым показателем, характеризующим семенную продуктивность льна масличного, является масса 1000 семян. Этот показатель отражает морфологические особенности семян и может косвенно указывать на уровень полноценности их формирования.

Он тесно связан с условиями питания растений, влагообеспеченностью в период формирования и налива семян, а также с генетическими особенностями сорта. Более высокая масса 1000 семян, как правило, свидетельствует о лучшей обеспеченности растений ресурсами в критические фазы развития и более благоприятных условиях формирования генеративных органов. Изучение данного показателя в комплексе с урожайностью и масличностью позволяет более объективно оценить семенную про-

дуктивность сортов льна масличного и выделить наиболее перспективные образцы для практического использования в условиях Костанайской области.

По массе 1000 семян превысили показатель стандарта Казар 6,8 г на 0,1-0,5 г сортообразцы: Флиз – 7,3 г, Сибирский 38384 – 7,2 г, Линол, Канадский и Северный – по 7,0 г, Алтын – 6,9 г. В проведенных исследованиях масса 1000 семян варьировала в незначительных пределах без выраженной сортовой дифференциации, что свидетельствует о стабильности этого признака среди изучаемых образцов в условиях Костанайской области.

Заключение. Проведенные исследования позволили установить различия между сортами льна масличного по комплексу хозяйственно-ценных признаков в условиях Костанайской области. Анализ вегетационного периода показал хорошую адаптивность большинства исследуемых сортов к климатическим условиям региона.

Урожайность варьировала в зависимости от сорта и погодных условий, однако стабильно высокие значения были зафиксированы у сортов Алтын, Костанайский-11, Айсберг, Легур, Светлячок. Сорта Сюрприз, Фрунзенец, Сибирский 38854 и Лирина отличались повышенной масличностью, что повышает их ценность как сырьевой культуры.

Показатель массы 1000 семян находился в допустимых пределах и не выявил существенных различий между сортами, свидетельствуя о стабильности данного признака при изменяющихся условиях среды.

Таким образом по предварительным результатам комплексной оценки сортов льна масличного, испытываемых в условиях СХОС «Заречное», наибольшую хозяйственную ценность показали сорта Кустанайский янтарь, Флиз, Бизон, Исток, Лирина, Алтын, Светлячок, Айсберг, Сюрприз. Эти сорта сочетали высокую продуктивность, хорошую масличность и устойчивость к погодным колебаниям, что позволяет рекомендовать их для широкого использования в производственных посевах региона.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Программно-целевого финансирования Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по бюджетной программе BR 22885305 «Селекционно-генетическая технология развития систем долгосрочного хранения, восстановления, мониторинга и рационального использования агробиоразнообразия, как базовой основы улучшения селекционных программ РК».

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Першаков А.Ю. Лен масличный – элементы технологии и сорта (аналитический обзор)** [Текст] / Р.И. Белкина // АПК: инновационные технологии. – 2018. – №1 (40). – С. 45-50.

2. **Рожмина Т.А. Масличный лен как источник волокнистого сырья** [Текст] / А.А. Жученко, И.А. Куземкин, Т.С. Киселева, Е.Г. Герасимова // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – №9 (33). – С. 28-31. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10906.

3. **Глуховцев В.В. Селекция и семеноводство льна масличного в северных регионах Казахстана** [Текст] / В.Г. Васин // Аграрная наука Казахстана. – 2019. – №3. – С. 45–51.

4. **Гурина Е.В. Морфологические особенности и продуктивность сортов льна масличного в условиях Центральной России** [Текст] / С.Н. Ковалев // Зерновое хозяйство России. – 2022. – №4. – С. 27–32.

5. **Искаков Р.К. Особенности налива и созревания семян льна масличного в I-ой природно-климатической зоне Костанайской области** [Текст] / Сборник научных трудов, посвященный 85-летию со дня основания Карабалыкской СХОС. – 2014. – С. 55-57.

6. **Ермагамбетова А.О. Результаты исследований коллекционного питомника льна масличного в условиях ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное»** [Текст] / Ж.Б. Жарлыгасов, Б.И. Тыныспаева, Д.С. Ергазина // 3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация. – 2023. – №4. – С. 62-71. https://doi.org/10.52269/22266070_2023_4_62.

7. **Мухамеджанова А.С. Сорта льна масличного, возделываемые в ТОО СХОС «Заречное»** [Текст] // Сборник материалов Международной научно-практической конференции и IX региональной научно-практической конференции, посвященных 70-летию Алтайского НИИ сельского хозяйства и 50-летию Алтайского селекционного центра. – 2020. – С. 86-90.

8. **Государственный реестр селекционных достижений, рекомендуемых к использованию в Республике Казахстан**. – Астана: РГУ ГКСИСК МСХ РК, 2024. – 63 с.

9. **Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)** [Текст] / Б.А. Доспехов // монография. М.: Альянс. – 2011. – 295 с.

10. **Кутузова С.Н. Изучение коллекции льна (Linum usitatissimum L.)** [Текст] / А.Г. Питько // Методические указания / ВНИИЛ, Ленинград, 1989. – 23 с.

11. **Нестеренко Л.Г. Влияние погодных факторов и сроков сева на урожайность и масличность льна** [Текст] / Е.А. Якубенко //Вестник РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2020. – №2. – С. 87–92.

12. **Галкин Ф.М. Особенности селекции льна масличного** [Текст] / Ф.М. Галкин // Масложировая промышленность. – 2000. – №3. – С. 13–15.

REFERENCES:

1 **Pershakov A.Yu., Belkina R.I. Len maslichny'j – e'lementy' tehnologii i sorta (analiticheskij obzor)** [Oilseed flax – elements of technology and varieties (analytical review)]. *APK: innovacionny'e tehnologii*, 2018. no. 1(40), pp. 45-50. (In Russian)

2 **Rozhmina T.A., Zhuchenko A.A., Kuzemkin I.A., Kiseleva T.S., Gerasimova E.G. Maslichny'j len kak istochnik voloknistogo sy'r'ya** [Oilseed flax as a source of fibrous raw materials]. *Dostizheniya nauki i tehniki APK,* 2019, no.9(33), pp.28-31. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10906. (In Russian)

3 **Gluhovcev V.V., Vasin V.G. Selekciya i semenovodstvo l'na maslichnogo v severny'h regionah Kazahstana** [Breeding and seed production of oilseed flax in the northern regions of Kazakhstan]. *Agrarnaya nauka Kazahstana*, 2019, no.3, pp. 45–51. (In Russian)

4 **Gurina E.V., Kovalev S.N. Morfologicheskie osobennosti i produktivnost' sortov l'na maslichnogo v usloviyah Central'noj Rossii** [Morphological features and productivity of oilseed flax varieties in Central Russia]. *Zernovoe hozyajstvo Rossii*, 2022, no.4, pp. 27–32. (In Russian)

5 **Iskakov R.K. Osobennosti naliva i sozrevaniya semyan l'na maslichnogo v I-oj prirodno-klimaticheskoj zone Kostanajskoj oblasti** [Features of oilseed flax seed filling and maturation in the 1st natural and climatic zone of Kostanay region]. *Sbornik nauchny'h trudov, posvyashhenny'j 85-letiju so dnya osnovaniya Karabalykskoj SHOS*, 2014, pp. 55-57. (In Russian)

6 **Ermagambetova A.O., Zharlygasov Zh.B., Tynyspaeva B.I., Ergazina D.S. Rezul'taty' issledovanij kollekcionnogo pitomnika l'na maslichnogo v usloviyah TOO «Sel'skohozyajstvennaya opy'tnaya stanciya «Zarechnoe»** [Findings of research of the oil flax collection nursery under the conditions of the Agricultural Experimental Station "Zarechnoye" LLP]. *3i: intellect, idea, innovation, innovacij*a, 2023. no.4, pp. 62-71. https://doi.org/10.52269/22266070_2023_4_62 (In Russian)

7 **Muhamedzhanova A.S. Sorta l'na maslichnogo, vozdely'vaemy'e v TOO SHOS «Zarechnoe»** [Varieties of oilseed flax cultivated by the Agricultural Experimental Station "Zarechnoye" LLP]. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii i IX regional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhenny'h 70-letiyu Altajskogo NII sel'skogo hozyajstva i 50-letiyu Altajskogo selekcionnogo centra*, 2020, pp.86-90. (In Russian)

8 **Gosudarstvenny'j reestr selekcionny'h dostizhenij, rekomenduemy'h k ispol'zovaniyu v Respublike Kazahstan**. Astana: RGU GKSISK MSH RK, 2024, p. 63 (In Russian)

9 **Dospehov B.A. Metodika polevogo opy'ta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij)** [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Alyans, 2011, 295 p. (In Russian)

10 **Kutuzova S.N., Pitko A.G. Izuchenie kollekcii l'na (Linum usitatissimum L.)** [Study of the flax collection (Linum usitatissimum L.)]. Metodicheskie ukazanija VNIIL, Leningrad, 1989, 23 p. (In Russian)

11 **Nesterenko L.G., Yakubenko E.A. Vliyanie pogodny'h faktorov i srokov seva na urozhajnost' i maslichnost' l'na** [The influence of weather factors and sowing dates on the yield and oil content of flax]. *Vestnik RGAU–MSKhA im. K.A. Timiryazeva*, 2020, no.2, pp. 87–92. (In Russian)

12 **Galkin F.M. Osobennosti selekcii l'na maslichnogo** [Features of oilseed flax breeding]. *Maslozhirovaya promy'shlennost'*, 2000, no.3, pp.13–15. (In Russian)

Дата поступления: 15 июня 2026 г. **Принято:** 28 августа 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Зинченко Алёна Валериевна – магистр сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции сельскохозяйственных культур, ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное», Республика Казахстан, Костанайская область, 111108 с. Заречное, ул. Юбилейная, 12, тел.: 87011205601, e-mail: zinchenko.av@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0001-5681-7368.*

Тыныспаева Бахытгуль Исенжоловна – старший научный сотрудник лаборатории селекции сельскохозяйственных культур, ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное», Республика Казахстан, Костанайская область, 111108 с. Заречное, ул. Юбилейная, 12, тел.: 87011205601, e-mail: tynyspaeva@inbox.ru, ID ORCID: 0000-0001-9021-4085.

Ергазина Динара Сардарбековна – научный сотрудник, магистр технических наук, ТОО «Сельскохозяйственная опытная станция «Заречное», Республика Казахстан, 111108, Костанайская область, с. Заречное, ул. Юбилейная, 12, тел.: 87017849053, e-mail: tomi_10@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-0555-5649.

Жамалова Динара Булатовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доктор PhD, ассистент профессора кафедры агрономии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет

Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28, корпус 2, тел.: 87478049455, e-mail: dinarazhamalova25@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-2281-4817.

Зинченко Алена Валериевна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ауыл шаруашылығы дақылдарын іріктеу зертханасының меңгерушісі, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 111108, Қостанай облысы, Заречное ауылы, Юбилейный көш, 12. тел.: 87011205601, e-mail: zinchenko.av@inbox.ru; https://orcid.org/0000-0001-5681-7368.*

Тыныспаева Бахытқуль Исенжоловна – ауыл шаруашылығы дақылдарын іріктеу зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 111108, Қостанай облысы, Заречное ауылы, Юбилейный көш, 12. тел.: 8701 120 56 01, e-mail: tynyspaeva@inbox.ru, https://orcid.org/0000-0001-9021-4085.

Ергазина Динара Сардарбековна – техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, «Заречное» ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 111108, Қостанай облысы, Заречное ауылы, Юбилейный көш, 12. тел.: 87017849053, e-mail: tomi_10@mail.ru; https://orcid.org/00000003-0555-5649.

Жамалова Динара Булатовна – PhD докторы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, агрономия кафедрасы профессорының ассистенті, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28, 2 корпус, тел.: 87478049455, e-mail: dinarazhamalova25@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-2281-4817.

Zinchenko Alyona Valeriyevna – Master of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Crop Breeding, Agricultural Experimental Station "Zarechnoye" LLP, Republic of Kazakhstan, Kostanay region, 111108, Zarechnoye village, 12 Yubileynaya Str., tel.: 87011205601, e-mail: zinchenko.av@inbox.ru; https://orcid.org/0000-0001-5681-7368.*

Tynyspayeva Bakhytgul Issenzholovna – Senior Researcher, Laboratory of Crop Breeding, Agricultural Experimental Station "Zarechnoye" LLP, Republic of Kazakhstan, Kostanay region, 111108, Zarechnoye village, 12 Yubileynaya Str., tel.: 87011205601, e-mail: tynyspaeva@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0001-9021-4085.

Yergazina Dinara Sardarbekovna – Researcher, Master of Technical Sciences, Agricultural Experimental Station "Zarechnoye" LLP, Republic of Kazakhstan, Kostanay region, 111108, Zarechnoye village, 12 Yubileynaya Str., tel.: 87017849053, e-mail: tomi_10@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-0555-5649.

Zhamalova Dinara Bulatovna – Candidate of Agricultural Sciences, PhD, Assistant Professor, Department of agronomy, Akhmet Baytursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28 Abai Ave., bld. 2, tel.: 87478049455, e-mail: dinarazhamalova25@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-2281-4817.

МРНТИ 68.35.29
УДК 631(571.150)
https://doi.org/10.52269/SEPT2631140

АНАЛИЗ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В РАМКАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ

Макаев К.А. – докторант 3 курса направления D131 – Растениеводство, образовательная программа 8D08102 – Органическое земледелие, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.*

Татаринцев В.Л. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения и экологии почв Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологического института), ФГАОУВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, Российская Федерация.

В данном научном исследовании представлены результаты многолетнего анализа гидротермических условий, оказывающих влияние на урожайность ярового ячменя в производственных посевах ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция». В работе использованы данные за многолетний период, характеризующие температурный режим, количество атмосферных осадков, суммы активных температур и запасы продуктивной влаги в почве за период 2001-2022 годов по сортам культуры. Установлено, что на продуктивность ячменя в значительной степени влияют гидротермические условия в период фаз развития растений. Особое значение имеют влагообеспеченность посевов, температурный режим в период вегетации и накопление влаги в осенне-зимний период. Среди изученных сортов наиболее стабильной продуктивностью характеризовался сорт «Кедр», тогда как сорт «Целинный 2005» отличался большей вариабельностью урожайности в зависимости от складывающихся условий среды. Полученные результаты могут быть

использованы при совершенствовании технологий возделывания ярового ячменя, оценке экологической устойчивости сортов и выборе сортов, адаптированных к условиям степной зоны Северного Казахстана. Имеющиеся данные также позволяют учитывать влияние погодных условий при планировании агротехнических мероприятий и оценке потенциальной урожайности культуры.

Ключевые слова: *гидротермические условия, производственные посевы, урожайность, яровой ячмень, температурный режим, атмосферные осадки, запасы продуктивной влаги, экологическая устойчивость сортов.*

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ТӘЖІРИБЕ СТАНЦИЯСЫНЫҢ ӨНДІРІСТІК ЕГІСТІКТЕРІНДЕ ЖАЗДЫҚ АРПА ӨСІРУДІҢ ГИДРОТЕРМИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙЛАРЫН БАҒАЛАУ

Макаев Қ.А. – D131 – Өсімдік шаруашылығы бағытының, 8D08102 – Органикалық егіншілік білім беру бағдарламасының 3-курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.*

Татаринцев В.Л. – Ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, топырақтану және топырақ экологиясы кафедрасының профессоры, Биология, экология, топырақтану, ауыл және орман шаруашылығы институты (Биологиялық институт), «Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік автономды жоғары білім беру мекемесі, Томск қ., Ресей Федерациясы.

Бұл ғылыми зерттеуде «Солтүстік Қазақстан ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС-нің өндірістік егістіктеріндегі жаздық арпаның өнімділігіне әсер ететін гидротермиялық жағдайларды көпжылдық талдау нәтижелері ұсынылған. Зерттеуде 2001–2022 жылдар кезеңіндегі дақыл сорттары бойынша температуралық режимді, атмосфералық жауын-шашын мөлшерін, белсенді температуралар жиынтығын және топырақтағы өнімді ылғал қорын сипаттайтын көпжылдық деректер пайдаланылды. Арпаның өнімділігіне өсімдіктердің өсу және даму фазалары кезеңіндегі гидротермиялық жағдайлардың едәуір әсер ететіні анықталды. Егістіктердің ылғалмен қамтамасыз етілуіне, вегетация кезеңіндегі температуралық режимге және күзгі-қысқы кезеңде ылғалдың жиналуына ерекше мән беріледі. Зерттелген сорттардың ішінде «Кедр» сорты ең тұрақты өнімділікпен сипатталды, ал «Целинный 2005» сорты қалыптасқан орта жағдайларына байланысты өнімділіктің неғұрлым жоғары өзгергіштігімен ерекшеленді. Алынған нәтижелер жаздық арпаны өсіру технологияларын жетілдіруде, сорттардың экологиялық тұрақтылығын бағалауда және Солтүстік Қазақстанның дала аймағы жағдайларына бейімделген сорттарды таңдауда пайдаланылуы мүмкін. Қолда бар деректер агротехникалық іс-шараларды жоспарлау және дақылдың әлеуетті өнімділігін бағалау кезінде ауа райы жағдайларының әсерін ескеруге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: *гидротермалдық жағдайлар, өндірістік егістіктер, өнімділік, жаздық арпа, температуралық режим, атмосфералық жауын-шашын, топырақтың өнімді ылғал қоры, сорттардың экологиялық тұрақтылығы.*

ASSESSMENT OF HYDROTHERMAL CONDITIONS FOR SPRING BARLEY CULTIVATION IN PRODUCTION CROPS OF THE NORTH KAZAKHSTAN EXPERIMENTAL STATION

Makayev K.A. – 3-rd-year PhD student, D131 – Plant Production, "8D08102 – Organic Farming" educational program, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

Tatarintsev V.L. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of soil science and soil ecology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry (Biological Institute), Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Tomsk State University" (NRTSU), Tomsk, Russian Federation.

This scientific study presents the results of a long-term analysis of hydrothermal conditions affecting the yield of spring barley in production crops of the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station LLP. The study uses long-term data characterizing the temperature regime, atmospheric precipitation, sums of active temperatures, and productive soil moisture reserves for the period 2001–2022 across crop varieties. It was established that barley productivity is significantly influenced by hydrothermal conditions during the growth and development phases of plants. Particular importance is attached to crop water availability, the temperature regime during the growing season, and moisture accumulation during the autumn–winter period. Among the varieties studied, the «Kedr» variety demonstrated the most stable productivity, whereas the «Tselinny 2005» variety was characterized by greater yield variability depending on the prevailing environmental conditions. The results obtained can be used to improve spring barley cultivation technologies, assess the ecological stability of varieties, and select varieties adapted to the conditions of the steppe zone of Northern Kazakhstan. The available data also enabled to factor in the influence of weather conditions when planning agrotechnical measures and assessing the potential yield of the crop.

Keywords: *hydrothermal conditions, production crops, yield, spring barley, temperature regime, atmospheric precipitation, productive soil moisture reserves, ecological stability of varieties.*

Введение. В современных условиях рост продуктивности и устойчивости земледелия [1, с.1-3] в настоящее время базируется на научных разработках, которые не всегда учитывают всю совокупность природных и агротехнических факторов и условий земледелия [2, с.4-6]. В условиях Северного Казахстана яровой ячмень является одной из ведущих зерновых культур, используемой, как для продовольственных, так и для кормовых целей. Он отличается высокой пластичностью к условиям среды, однако урожайность культуры сильно зависит от гидротермического режима. Проблема адаптации ячменя к климатическим изменениям и выявление оптимальных условий возделывания остаются актуальными задачами аграрной науки. Наиболее положительных социально-эколого-экономических результатов можно достигнуть при применении системного подхода, который позволит в полной мере учитывать биологические особенности растений, почвенно-климатические, агротехнические и организационно-экономические факторы [3, с.7-9], которые оказывают влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, использование земель и воспроизводство их плодородия [4, с.10]. Вместе с тем, в сельском хозяйстве активно внедряются современные технологии: беспилотные летательные аппараты, специализированное программное обеспечение, а также модели на основе искусственного интеллекта. Эти инновации позволяют комплексно оценивать агроландшафты, включая температурный и влагообеспеченный режим, что делает исследования гидротермических условий выращивания ярового ячменя особенно значимыми для разработки адаптивных технологий в степной зоне Северного Казахстана.

Применение системной методологии при изучении реакции растений на факторы, её определяющие, может аргументировать решения по минимизации условий продуцирования сельскохозяйственных растений в рамках рационального использования природно-экономических ресурсов. В этой связи цель настоящей научной работы заключена в оценке гидротермических условий (2001-2022 годы) землепользования Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции (СХОС) в Республике Казахстан, где в производственных посевах выращивается яровой ячмень.

Цель исследования. Оценка влияний гидротермических условий на формирование урожайности районированных сортов ярового ячменя в производственных посевах Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции за период 2001–2022 гг. и определение наиболее оптимальных и приемлемых технологий, методов выращивания ячменя, и устойчивых сортов с учетом гидротермических ресурсов степной зоны Северного Казахстана.

Задачи исследования: изучение особенностей гидротермических условий вегетационного периода, оценка влияния температуры, осадков и запасов продуктивной влаги на урожайность, сравнение продуктивности районированных сортов, проведение корреляционного и регрессионного анализов зависимости урожайности от гидротермических факторов, формулировка практических рекомендаций.

Материалы и методы исследований. Настоящее исследование проводилось в условиях Северо-Казахстанской области, где использовались полевые опыты с целью изучения влияния гидротермических условий на выращивание ярового ячменя. Были выбраны следующие варианты агроприемов: сроки посева – первая декада июня, всходы – вторая декада июня, цветение – третья декада июля. Гидротермические условия оценивались по среднесуточной температуре воздуха, сумме активных температур выше 10°С, количеству атмосферных осадков и запасам продуктивной влаги в метровом слое почвы. При мониторинге были применены статистические методы, которые в себя включают два вида анализа – корреляционный и регрессионный.

В методологию включены опыты полевых работ, сведения по учёту урожайности и качественные показатели, анализ информации с данными статистических методов.

В качестве материала для исследования был выбран яровой ячмень (сорта Астана 2000, Сабир, Дружный, Кедр, Целинный 2005), который возделывался в рамках производственных посевов СХОС. В данной организации производство семенного материала различных репродукций, является основным видом деятельности. Обработка результатов проводилась методами описательной статистики, корреляционного и регрессионного анализов с целью оценки связи между гидротермическими показателями и урожайностью. Полученные зависимости использовались для сравнительной оценки устойчивости сортов.

Результаты и обсуждение. На протяжении исследуемого периода проводилось ускоренное размножение пяти районированных сортов ячменя (2001-2022 гг.). С 2001 по 2002 год (возможно, он выращивался и ранее) размножался сорт «Кедр», с 2005 по 2015 год – сорт «Астана 2000», с 2010 по 2021 год – сорт «Целинный 2005». Короткое время (2018-2019 год) на размножение поступил сорт «Дружный», а в 2019 году началось размножение сорта «Сабир». Все сорта являются яровыми и отнесены к двухрядной форме. Срок вегетационного периода размножаемых сортов составляет 95-100 суток. Требования к условиям произрастания приведены в таблице 1.

При исследовании установлено, что семена ячменя начинают прорастать при температуре 3-4°С, однако оптимальной температурой следует считать 19-20°С.

В свою очередь, резкие колебания суточных температур в почве благоприятно действуют в период посева на прорастание семян, которое начинается на вторые-четвертые сутки после посева.

Таблица 1 – Оптимальные гидротермические условия произрастания ячменя ярового по фенологическим фазам

Месяц	Декада	Фенофаза	Оптимум		Влагообеспеченность*, мм		
			t°C	∑t>10°C	Opt.	Opt.Zпв	Opt.∑oc
Июнь	1	Посев	16-18	160-180	70	20	50
	2	Всходы 3-й лист	19-20	380-400			
	3	Кущение					
Июль	1	Выход в трубку	19-20	590-620	180	40	140
	2	Колошение					
	3	Цветение					
Август	1	Налив: молочная, восковая, полная спелость	15-22	600	100	10	90
	2						
	3						
Сентябрь	1	Уборка	>15	300	–	–	–
	2						
За вегетационный период			>16	1500	350	70	280

* Примечание: Opt. – оптимальная влагообеспеченность; Opt.Zпв – оптимальный запас продуктивной влаги в метровом слое почвы; Opt.∑oc – оптимальная сумма атмосферных осадков

При этом всходы устойчивы к заморозкам до -8-9°С, однако более уязвимы к засухам, которые наблюдаются на отмеченной территории во второй-третьей декадах мая. В этой связи сроки посева сдвигаются на первую декаду июня, в тот период, при которой средняя температура воздуха составляет 16-18°С, а атмосферные осадки превышают 10 мм. В данный период средние атмосферные осадки составляют 50-55 мм, количество которых в эти фазы соответствует оптимальной норме 7 раз за 10 лет. При этом 3 года из 10 отмечается их дефицит, который возмещается за счёт почвенной влаги. К концу фазы кущения средняя температура воздуха повышается до 19°С, интервал колебания – от 15,7 до 22,8°С, что является оптимальной для развития растений.

По истечению 3-4 недель после периода всходов стартует фаза выхода в трубку.

В период произрастания растения ячменя от начала роста стебля до налива зерна необходимо не менее 180 мм влаги, что составляет до 55% от общей потребности влаги, при этом 78% приходится на атмосферные осадки и около 22% – на запасы из почвы.

К началу налива зерна происходит расход практически всего запаса влаги доступного в метровом слое – 40 мм. Среднее количество осадков, которое выпадает в данный период является важным для растений ячменя (период формирования урожая) и составляет не более 75 мм, с колебаниями по годам от 23 до 136 мм.

В тоже время, даже максимальное количество осадков, которые выпадают в июле, недостаточны для растений. В исследуемой территории дефицит влаги типичен 9 раз за 10 лет и только один год из десяти количество осадков на 4-9 мм выше оптимальной нормы. Уровень недостатка влаги по годам изменяется от 30 до 100 мм и более.

В первой и второй декадах августа в период фазы налива, молочной и восковой спелости необходимо до 100 мм влаги. Небольшая доля влаги (до 10 мм) растения получают из почвы, а большая её часть (90 мм) поступает с атмосферными осадками.

Вместе с тем, среднее количество атмосферных осадков в августе, составляют менее 45 мм при интервале колебания по исследуемому лагу от 10 до 148 мм. Исходя из динамики количества осадков по годам, выпадающих в августе, можно сделать вывод, что только один раз в 10 лет количество осадков соответствует оптимальной норме (90 мм). Средняя температура воздуха в августе от первой декады к третьей уменьшается с 19,1 до 17,5°С, и остается оптимальной для созревания зерна. Фаза полной спелости зерна подходит к завершению к началу сентября.

Среднемноголетняя урожайность ячменя составила 22,4 ц/га при изменении по годам от 13,3 (2016 год) до 33,3 ц/га (2011 год). Сорта «Астана 2000», «Сабир» и «Дружный» отличались самой высокой урожайностью зерна, которая колебалась в очень узком (25,2-25,7 ц/га) интервале. Сорт «Кедр» в среднем давал 21,7 ц/га. Самой низкой средней урожайностью (19,6 ц/га) отмечается сорт «Целинный 2005». Размах варьирования урожайности ячменя сорта «Целинный 2005» составил 24,3 ц/га, сорта «Астана 2000» – 20,0 ц/га, сорта «Дружный» – 17,5 ц/га, сорта «Сабир» – 16,1 ц/га и, наконец, сорта «Кедр» – 15,0 ц/а.

Результаты. Средняя многолетняя температура воздуха в июле по декадам изменилась от 19,6 до 20,6°С с колебаниями по годам от 15,6 до 22,2°С, находясь в оптимальном интервале. Средняя многолетняя ∑t>10°С за июль возрастает до 618°С, что на 59°С больше, чем в июне. Разница между минимальными и максимальными значениями среднегодовой ∑t>10°С в июле составила 204°С.

Проведенный корреляционный анализ показал, что наиболее существенное влияние на формирование урожайности оказали количество атмосферных осадков и обеспеченность продуктивной влагой в период выхода растений в трубку – колошения. Температурный режим также оказывал влияние на продуктивность, однако его воздействие было менее выраженным по сравнению с влагообеспеченностью. Регрессионный анализ подтвердил наличие устойчивой зависимости урожайности от совокупности гидротермических факторов, что свидетельствует о возможности их использования при прогнозировании урожайности и выборе наиболее адаптированных сортов.

Заключение. Согласно результатам исследования установлено, что на урожайность ярового ячменя в условиях Северного Казахстана, в основной мере, влияют гидротермические условия в период органогенеза. Оптимальные условия по влаге и температуре формируются крайне редко, что требует адаптации технологий возделывания, различия между сортами обусловлены не только их генетическими особенностями, но и неодинаковой реакцией на влагообеспеченность в критические фазы развития растений. Наиболее стабильные показатели отмечены у сорта «Кедр», который характеризовался меньшей изменчивостью урожайности по годам. Сорт «Целинный 2005», напротив, оказался более чувствительным к дефициту влаги, что особенно проявлялось в годы с недостаточным количеством осадков в июле. Гидротермические условия повлияли на колебания урожайности сортов, а также репродукцию семян, используемых при посеве.

Полученные результаты согласуются с опубликованными исследованиями по степной зоне Казахстана и сопредельных регионов, где влагообеспеченность рассматривается как один из ключевых факторов формирования урожая ярового ячменя.

Вклад авторов: Макаев К.А. – определение тематики, концепции и методологии исследования, выработка задач, постановка и проведение полевых опытов, анализ полученных данных и выполнение основной части текста статьи. Татаринцев В.Л. – методологическое сопровождение написания статьи, консультационные услуги по определению качественных показателей семян и совместный анализ результатов эксперимента.

Информация о финансировании: Исследование в рамках выполнения статьи проводилось за счет собственных средств автора, дополнительных источников финансирования не привлекалось.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Саммит по устойчивому развитию. Преобразование нашего мира в интересах людей и планеты. (25-27 сентября 2015 года).** [Текст]: электронный // Организация Объединенных Наций [Официальный сайт]. URL: http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/wp-content_/uploads/_sites/5/2015/08/0verview_Sustainable_Development_Summit.pdf (дата обращения: 25.03.2026 г.).

2. **Bombelli A., Chiriacò M.V., Perugini L., Castaldi S., Valentini R., Di Paola A. Climate change, sustainable agriculture and food systems: The world after the Paris agreement. Achieving the Sustainable Development Goals Through Sustainable Food Systems.** [Текст]: Springer International Publishing. 2019. С. 25-34 DOI: 10.1007/978-3-030-23969-5_2. (date accessed: 25.03.2026 г.).

3. **Татаринцев В.Л. Организация устойчивого сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае с применением ландшафтного анализа** / В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев, А.В. Мацюра, А.А. Бондарович. – [Текст]: электронный // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. – № 3. – С. 339-349. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-339-348 (дата обращения: 25.03.2026).

4. **Якубышина Л.И. Влияние предшественников на урожайность и качество ярового ячменя в условиях Челябинской области** / Л.И. Якубышина, Ю.П. Прядун. – [Текст] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. – № 6 (86). – С. 49-54.

5. **Зинченко В.Е. Влияние элементов технологии на продуктивность ярового ячменя в условиях обыкновенных черноземов** / В.Е. Зинченко, А.В. Гринько, В.А. Кулыгин. – [Текст] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. – № 5 (67). – С. 48-51.

6. **Чекмарев В.В. Влияние погодных условий на урожайность ярового ячменя** / В.В. Чекмарев, О.В. Постовая. – [Текст] // Зерновое хозяйство России. 2013. – № 4. – С. 1-7.

7. **Ещенко Е.Г. Варьирование урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием различных факторов** / Е.Г. Ещенко, С.И. Ещенко, В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев. – [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 9 (167). – С. 46-52.

8. **Татаринцев Л.М. Повышение эффективности сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае** / Л.М. Татаринцев, В.Л. Татаринцев, А.А. Бунин, О.А. Латышева, О.Э. Мерзляков. – [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 5 (151). – С. 35-43.

9. **Татаринцев Л.М. Экологические аспекты сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае** / Л.М. Татаринцев, В.Л. Татаринцев, Т.В. Власова. – [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (63). – С. 49-52.

10. **Мягкий П.А. Моделирование сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае** / П.А. Мягкий, Д.А. Репенёк, В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев. – [Текст] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3 (161). – С. 26-32.

REFERENCES:

1. **Sammit po ustojchivomu razvitiyu. Preobrazovanie nashego mira v interesah lyudej i planety'** [Summit on sustainable development. Transforming our world for people and the planet]. 2015, United Nations Organization, available at: http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/wp-content /uploads/sites/5/2015/08/ 0verview_Sustainable_Development_Summit.pdf (accessed 25 March 2026). (In Russian)

2. **Bombelli A., Chiriacò M.V., Perugini L., et al. Climate change, sustainable agriculture and food systems: The world after the Paris agreement. Achieving the sustainable development goals through sustainable food systems.** Springer International Publishing, 2019, pp. 25-34. DOI: 10.1007/978-3-030-23969-5_2 (accessed 25 March 2026)

3. **Tatarincev V.L. Organizaciya ustojchivogo sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae s primeneniem landshaftnogo analiza** [The organization of sustainable agricultural land use in the Altai Territory using landscape analysis]. *Ustojchivoe razvitie gorny'h territorij,* 2020, vol. 12, no. 3, pp. 339-349. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-339-348 (accessed 25 March 2025). (In Russian)

4. **Yakubyshina L.I. Vliyanie predshestvennikov na urozhajnost' i kachestvo yarovogo yachmenya v usloviyah Chelyabinskoj oblasti** [The influence of predecessors on the yield and quality of spring barley in the Chelyabinsk region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2020, no. 6 (86), pp. 49-54. (In Russian)

5. **Zinchenko V.E. Vliyanie e'lementov tehnologii na produktivnost' yarovogo yachmenya v usloviyah oby'knovenny'h chernozemov** [The influence of technological elements on the productivity of spring barley under conditions of ordinary chernozems]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2017, no. 5 (67), pp. 48-51. (In Russian)

6. **Chekmarev V.V. Vliyanie pogodny'h uslovij na urozhajnost' yarovogo yachmenya** [The impact of weather conditions on the yield of spring barley]. *Zernovoe hozyajstvo Rossii,* 2013, no. 4, pp. 1-7. (In Russian)

7. **Eshhenko E.G. Var'irovanie urozhajnosti sel'skohozyajstvenny'h kul'tur pod vozdejstviem razlichny'h faktorov** [Variation in crop yields under the influence of various factors]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2018, no. 9 (167), pp. 46-52. (In Russian)

8. **Tatarincev L.M. Povy'shenie e'ffektivnosti sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae** [Improving the efficiency of agricultural land use in the Altai Territory]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2017, no. 5 (151), pp. 35-43. (In Russian)

9. **Tatarincev L.M. E'kologicheskie aspekty' sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae** [Environmental aspects of agricultural land use in the Altai Territory]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2010, no. 1 (63), pp. 49-52. (In Russian)

10. **Myagkij P.A. Modelirovanie sel'skohozyajstvennogo zemlepol'zovaniya v Altajskom krae** [Modeling agricultural land use in the Altai Territory]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2018, no. 3 (161), pp. 26-32. (In Russian)

Дата поступления: 20 мая 2026 г. **Принято:** 23 июня 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Макаев Кайрат Амиржанович – докторант 3 курса направления D131 – Растениеводство, образовательная программа 8D08102 – Органическое земледелие, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Руководитель ТОО «SMART inc.», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Туркестан, д. 32. кв. 52, тел.: 8701736 2631, e-mail: kmakaev@mail.ru.*

Татаринцев Владимир Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения и экологии почв Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологического института), ФГАОУВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Российская Федерация, 634050 г. Томск, пр-т Ленина, 36, тел.: 89039956719.

Макаев Кайрат Амиржанович – D131 – Өсімдік шаруашылығы бағыты, 8D08102 – Органикалық егіншілік білім беру бағдарламасының 3-курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, SMART inc. ЖШС басшысы, Қазақстан Республикасы 010000, Астана қ., 32 Түркістан көш., 52 үйі, тел.: 87017362631, e-mail: kmakaev@mail.ru.*

Татаринцев Владимир Леонидович – Ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, топырақтану және топырақ экологиясы кафедрасының профессоры, Биология, экология, топырақтану, ауыл және орман шаруашылығы институты (Биологиялық институт) «Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті» Федералдық мемлекеттік автономды жоғары білім беру мекемесі, Ресей Федерациясы 634050, Томск қ., Ленин даңғ, 36, ұялы тел.: 89039956719.

Makayev Kairat Amirzhanovich – 3-rd-year PhD student, D131 – Plant Production, "8D08102 – Organic Farming" educational program, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Head of SMART inc. LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 32 Turkestan Str., apt. 52, tel.: 87017362631, e-mail: kmakaev@mail.ru.*

Tatarintsev Vladimir Leonidovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of soil science and soil ecology, Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry (Biological Institute), Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Tomsk State University" (NRTSU), Russian Federation, 634050, Tomsk, 36 Lenin ave, tel.: 89039956719.

МРНТИ 68.85.85: 68.31.21
УДК 631.67
https://doi.org/10.52269/SEPT2631146

КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР СИСТЕМ ОРОШЕНИЯ: ДАТЧИКИ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ, IoT И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПОДДЕРЖСКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Молдахметов С.С. – PhD, Researcher (исследователь) кафедры энергетики и радиоэлектроники, «Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева», г. Петропавловск, Республика Казахстан.*

Абдуалиев Е.О. – докторант 2 курса ОП 8D07103 – Электроэнергетика, «Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева», г. Петропавловск, Республика Казахстан.

В статье представлен комплексный обзор «умных» систем орошения, включающий анализ основных типов датчиков влажности почвы, атмосферных и растительно-ориентированных сенсоров, а также методов их калибровки и интеграции в полевые измерительные сети. Значительное внимание уделено развитию IoT-технологиям связи, LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi, ZigBee и BLE, а также их роли в построении масштабируемых и энергоэффективных сетевых архитектур для сельскохозяйственных условий. Рассмотрены основные современные технологии в измерении влажности почвы. Также в статье рассматриваются классы вычислительных платформ и контроллеров, применяемых для автоматизации полива. Произведен анализ основных подходов к принятию решений: модели водного баланса и испаряемости (ET_0, Kc), пороговые логические алгоритмы, системы поддержки принятия решений, основанные на правилах, а также современные методы прогнозирования, использующие машинное обучение, нейронные сети и гибридные модели. Особое внимание уделено сопоставлению преимуществ и ограничений различных классов технологий, а также их влиянию на эффективность использования воды, снижение эксплуатационных затрат и повышение устойчивости агропроизводства в условиях климатической изменчивости. Обзор подчеркивает, что наибольший потенциал имеют гибридные IoT системы, объединяющие данные сенсоров, физические модели и алгоритмы искусственного интеллекта. Полученные результаты формируют целостное представление о технологической базе современных систем точного орошения и определяют перспективные направления дальнейших исследований и практических внедрений.

Ключевые слова: *орошение, датчики влажности почвы, IoT, LoRaWAN, водный баланс, точное земледелие.*

СУАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНЕ КЕШЕНДІ ШОЛУ: ТОПЫРАҚ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫНЫҢ ДАТЧИКТЕРІ, IoT БАЙЛАНЫСЫ ЖӘНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫҚ МОДЕЛЬДЕРІ

Молдахметов С.С. – PhD, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасының зерттеушісі, «М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті», Петропавл қ., Қазақстан Республикасы.*

Абдуалиев Е.О. – «8D07103 – Электр энергетикасы» білім беру бағдарламасының 2-курс докторанты, «М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті», Петропавл қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада «ақылды» суару жүйелеріне кешенді шолу ұсынылады, онда топырақ ылғалдылығының негізгі датчиктері, атмосфералық және өсімдікке бағытталған сенсорлар түрлері, сондай-ақ оларды калибрлеу және далалық өлшеу желілеріне біріктіру әдістері талданады. Арнайы назар IoT байланыс технологияларының, LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi, ZigBee және BLE, ауылшаруашылық жағдайларына арналған ауқымды әрі энергия тиімді желілік архитектураларды құрудағы рөліне аударылады. Сонымен бірге топырақ ылғалдылығын өлшеудің заманауи технологиялары қарастырылады. Мақалада суаруды автоматтандыруға қолданылатын есептеу платформалары мен контроллерлердің негізгі сыныптары да сипатталады. Шешім қабылдау тәсілдерінің негізгі түрлері талданады: су балансы мен булануды есептеу модельдері (ET_0, Kc), шекті логикалық алгоритмдер, ереже-

ге негізделген шешім қабылдауды қолдау жүйелері, сондай-ақ машиналық оқыту, нейрондық желілер және гибридті модельдерге сүйенетін қазіргі болжамдау әдістері. Әртүрлі технологиялық шешімдердің артықшылықтары мен шектеулерін салыстыруға, сондай-ақ олардың су ресурстарын тиімді пайдалану, пайдалану шығындарын азайту және климаттың өзгергіштігі жағдайында агроөндірістің тұрақтылығын арттыруға әсеріне ерекше мән беріледі. Шолу сенсор деректерін, физикалық модельдерді және жасанды интеллект алгоритмдерін біріктіретін гибридті IoT жүйелерінің ең жоғары әлеуетке ие екенін көрсетеді. Алынған нәтижелер дәлме-дәл суарудың заманауи жүйелерінің технологиялық базасы туралы толыққанды түсінік береді және болашақ зерттеулер мен практикалық енгізудің перспективалық бағыттарын айқындайды.

Түйінді сөздер: *суару, топырақ ылғалдылығының датчиктері, IoT, LoRaWAN, су балансы, дәлме-дәл егіншілік.*

A COMPREHENSIVE REVIEW OF IRRIGATION SYSTEMS: SOIL MOISTURE SENSORS, IoT CONNECTIVITY AND INTELLIGENT DECISION-SUPPORT MODELS

Moldakhmetov S.S. – PhD, Researcher, Department of power engineering and radio electronics, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan.*

Abdualiyev Ye.O. – 2nd-year PhD student, "8D07103 – Electric Power Engineering" educational program, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan.

This article presents a comprehensive review of smart irrigation systems, including an analysis of the main types of soil moisture sensors, atmospheric and plant-oriented sensing technologies, as well as methods for their calibration and integration into field monitoring networks. Particular attention is given to the development of IoT communication technologies, such as LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi, ZigBee and BLE, and their role in building scalable and energy-efficient network architectures for agricultural environments. The paper also examines modern technologies for soil moisture measurement. Furthermore, various classes of computing platforms and controllers used for irrigation automation are reviewed. The analysis covers the principal decision-making approaches: soil water balance models and evapotranspiration calculations (ET_0, Kc), threshold-based logical algorithms, rule-based decision support systems, as well as modern forecasting methods that employ machine learning, neural networks and hybrid models. Special emphasis is placed on comparing the advantages and limitations of different technological classes and assessing their impact on water-use efficiency, operational cost reduction and the sustainability of agricultural production under conditions of climatic variability. The review highlights that hybrid IoT-based solutions integrating sensor data, physical models and artificial intelligence algorithms demonstrate the highest potential. The results provide a holistic view of the technological foundation of modern precision irrigation systems and outline promising directions for future research and practical implementation.

Key words: *irrigation, soil moisture sensors, IoT, LoRaWAN, water balance, precision agriculture.*

Введение. В условиях нарастающего дефицита пресных водных ресурсов и изменения климатических условий проблема рационального водопользования в аграрном секторе приобретает особую актуальность. Орошение является ключевым фактором стабильного производства сельскохозяйственной продукции, в особенности для некоторых регионов Казахстана, где природно-климатические условия крайне сложные [1, с. 72]. В таких условиях системы орошения приобретают стратегическое значение для стабильного производства сельскохозяйственной продукции, особенно в северных регионах страны, где развитая животноводческая деятельность также требует повышения урожайности не только зерновых, но и кормовых культур. При этом, согласно [2, с. 2], необходимость использования оросительных систем возникла с момента массового освоения целинных земель в Казахстане. Однако эффективность используемых традиционных оросительных систем остается низкой: значительные потери воды происходят вследствие фильтрации, испарения и неравномерного распределения влаги. В этих условиях возрастают требования к совершенствованию технологий орошения, направленных на повышение урожайности и снижение водо- и энергоемкости аграрного производства.

На современном этапе в мировой практике наблюдается переход от традиционных систем орошения к интеллектуальным решениям, включающим капельное, спринклерное и микродождевание, автоматическое управление подачей воды, а также применение IoT-сенсоров, спутникового мониторинга и возобновляемых источников энергии для насосных станций.

Целью данного обзора является анализ современного состояния и тенденций развития систем орошения сельскохозяйственных культур, а также оценка их адаптации к климатическим условиям Казахстана. Особое внимание уделяется перспективам внедрения энергоэффективных и интеллектуальных технологий, способных повысить водную и энергетическую эффективность аграрного производства, обеспечить устойчивость земледелия и рациональное использование природных ресурсов в северных регионах страны.

Задачи:

- систематизировать и сопоставить основные способы орошения по различным показателям;

– проанализировать методы измерения влажности почвы и водного статуса растений;

– сравнить технологии передачи данных и оценить их применимость при построении сетей на сельскохозяйственных площадях;

– рассмотреть вычислительные платформы, используемые для автоматизации полива;

– определить перспективную архитектуру интеллектуальной системы орошения и приоритеты ее адаптации к климатическим и ресурсным ограничениям северных регионов Казахстана.

Материалы и методы. Настоящее исследование выполнено в формате аналитического обзора, основанного на систематизации и сравнительном анализе отечественных и зарубежных источников, посвященных проблемам и перспективам развития систем орошения сельскохозяйственных культур. При отборе и анализе статей использовались рекомендации PRISMA. В качестве основных источников информации использованы научные публикации, размещенные в базах данных Scopus, Web of Science, SpringerLink, ScienceDirect и ResearchGate за период 2015-2026 гг., а также отчеты различных организаций и официальные статистические материалы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан. Всего было рассмотрено более 300 источников, из которых в обзор включены 76.

Анализ литературы

Современная сельскохозяйственная отрасль сталкивается с нарастающим комплексом проблем, связанных с дефицитом пресной воды [3], низкой эффективностью традиционных оросительных систем [4] и усилением климатической нестабильности. Гравитационные методы полива, широко применяемые в ряде регионов, характеризуются значительными потерями влаги и неравномерностью распределения воды, что приводит к ухудшению структуры почвы, водному стрессу растений и снижению урожайности [5]. Рост частоты засух [6, с. 1424], высокие энергетические затраты на подачу воды, износ инфраструктуры [7, 8], а также отсутствие систем точного мониторинга усугубляют дисбаланс между потреблением и доступностью водных ресурсов. В совокупности эти факторы формируют объективную необходимость перехода к высокоэффективным, управляемым и интеллектуальным методам орошения, способным обеспечить рациональное использование воды (water use efficiency, WUE), повышение продуктивности и устойчивость аграрного производства в условиях изменяющегося климата [9, с. 181].

В современном сельском хозяйстве методы орошения можно классифицировать на несколько групп, каждая из которых имеет свои преимущества и области применения. Поверхностное (гравитационное) орошение остается наиболее распространенным благодаря простоте и низкой стоимости, однако характеризуется значительными потерями воды и невысокой равномерностью увлажнения [10]. Более управляемым является орошение дождеванием, обеспечивающее равномерное распределение влаги за счет распыления под давлением [11, с. 80]. Наиболее водосберегающим считается микроорошение [12], включающее капельное, подповерхностное и микродождеватели, которые подают воду непосредственно в прикорневую зону и достигают высокой эффективности использования воды. Для оценки сравнительных преимуществ и ограничений этих методов важно рассматривать не только технологический принцип работы, но и параметры распределения влаги, потери воды, стоимость внедрения и пригодность для различных агроландшафтов. Ниже представлена обобщенная сравнительная таблица, отражающая ключевые характеристики трех наиболее распространенных методов орошения.

Таблица 1 – Сравнение основных методов орошения

№	Критерий	Поверхностное	Дождевание	Капельное
1	Способ подачи воды	Самотеком по поверхности почвы	Распыление под давлением	Точечная подача в прикорневую зону
2	Эффективность использования воды (WUE)	40–70 %	50–90 %	90–95 %
3	Потери воды	Высокие (испарение, сток, фильтрация)	Средние (испарение)	Низкие
4	Равномерность увлажнения	Низкая	Высокая	Очень высокая
5	Энергоемкость	Низкая	Средняя (нужно давление)	Средняя (нужна фильтрация)
6	Стоимость установки и обслуживания	Низкая	Средняя	Высокая
7	Влияние на почву	Риск засоления, эрозии, переувлажнения	Минимальное	Стабильная влажность, низкий риск деградации
8	Пригодность для культур	Зерновые, кормовые	Зерновые, кормовые	Овощные, плодовые

Как видно из таблицы, каждому методу орошения соответствует свой набор преимуществ и ограничений, определяющий его целесообразность в конкретных условиях. Для условий северного Казахстана, где преобладают крупные поля зерновых и кормовых культур на черноземных и каштано-

вых почвах, лучше всего подходит управляемое дождевание, а не капельное орошение, ориентированное преимущественно на овощные культуры.

Следующим этапом развития являются интеллектуальные и прецизионные системы, основанные на датчиках, IoT-платформах, технологиях VRI и анализе данных, что позволяет адаптировать полив к фактическому состоянию почвы и растений [19, с. 15-16]. Интеграция Smart-технологий и модернизация инфраструктуры орошения способны дополнительно повысить эффективность расходования воды. В отдельных нишах применяются специализированные методы, такие как туманообразование для теплиц [20, с. 157] и подповерхностное трубчатое орошение, предназначенные для высокоинтенсивных систем выращивания [21]. Таким образом, наблюдается эволюция ирригационных технологий от традиционных к высокоточным и цифровым решениям.

Контроль за осуществлением полива заключается в определении времени и объема подачи оросительной воды на поле для полного удовлетворения водных потребностей растений. Его несогласованность может существенно повлиять на WUE и урожайность. Для осуществления этого контроля современным системам необходимо следить за рядом показателей состояния почвы и растений.

Одним из главных показателей является оценка влажности почвы в поле. Влажность почвы важна, т.к. в исследовании Ogidan O.K. и др. [20, с. 157] с помощью применения микро-тензиометров показана корреляция влажности почвы и водного стресса растения. Обычно сельскохозяйственники визуально контролируют влажность почвы, используя практические приемы (подъем, «пинок», извлечение лопатой) для принятия решений по поливу. В работе Rasheed M.W. и др. [23] выделяют прямые и косвенные методы измерения влажности почвы для лабораторных и полевых условий, включая классические гравиметрические измерения, тензиометры, гипсовые блоки и др.

С развитием цифровых технологий контроль влажности почвы все чаще осуществляется с использованием современных инструментов, обеспечивающих более высокую точность, автоматизацию и возможность непрерывного мониторинга. К таким методам относятся электронные датчики почвенной влаги (емкостные, TDR, FDR). Однако, в работе Abdelmoneim A.A. и др. [24] была продемонстрирована необходимость калибровки таких сенсоров под конкретные типы почв. В ней были представлены датчики TEROS 10, SMT50 и др., и показано, что их точность существенно зависит от породы почвы и метода установки.

Существуют также более продвинутые способы определения влажности, например сенсоры водопоглощения растениями. Так, в исследовании Makni N. и др. [25] представлены электрическая импедансная спектроскопия и инфракрасная спектроскопия как неинвазивные методы измерения водного статуса непосредственно листьев, т.е. измерение относительного содержания воды и биопотенциала клеточной мембраны. Но такой метод слишком усложняет всю систему.

Для систематизации подходов и наглядного сравнения их характеристик целесообразно привести основные методы, используемые для оценки влажности почвы и водного статуса растений. Представленная ниже таблица 2 обобщает ключевые параметры различных групп датчиков.

Таблица 2 – Основные методы измерения влажности почвы и водного статуса растений

Тип сенсора	Принцип работы	Основные преимущества	Основные ограничения	Точность/ Инертность
Гравиметрический (прямой метод)	Измерение потери массы образца почвы после высушивания (обычно при 105 °C)	Эталонный метод	Трудоемкий, не подходит для непрерывного мониторинга	±0.5–1 % влажности; очень высокая инертность (часы)
Тензиометр (датчик водного потенциала почвы)	Измерение водного потенциала (отрицательного давления) в пористой чашке, заполненной водой	Хорошо коррелирует с доступностью влаги для растений; наглядный параметр	Не работает в сильно сухих почвах (ограниченный диапазон); требует обслуживания	±2 кПа; инертность от 30 мин до нескольких часов
Гипсовые блоки / матричные сенсоры	Измерение электрического сопротивления насыщенного гипсового (или полимерного) блока, находящегося в равновесии с почвой	Низкая стоимость, простота, возможно использование в сети точек	Средняя точность, постепенная деградация материала, нужна периодическая замена	Погрешность 10–20 %; инертность 12–24 ч
Емкостные диэлектрические сенсоры	Измерение диэлектрической проницаемости почвы, зависящей от содержания воды, по изменению емкости датчика	Низкая стоимость, дают данные в реальном времени, легко интегрируются в автоматизацию	Требуют калибровки под тип почвы; чувствительны к солености, плотности и температуре	±3–7 % (TEROS 10, SMT50); отклик < 1 мин

Продолжение таблицы 2

TDR/FDR сенсоры	Измерение скорости/ частотного отклика электромагнитного сигнала в почве, связанного с ее диэлектрической проницаемостью	Высокая точность и стабильность; пригодны для автоматизированного мониторинга в полевых условиях	Высокая стоимость оборудования; требовательность к установке и калибровке	±1–5 % VWC; отклик < 1 с
Импедансные /резистивные	Измерение сопротивления/импеданса между электродами в почве	Очень низкая стоимость, простота электроники, легко масштабировать сеть датчиков	Чувствительны к солености, температуре и коррозии электродов; требуются частые калибровки	±5–10 %; отклик < 10 с
Нейтронный зонд	Регистрация замедления быстрых нейтронов атомами водорода в почве, что дает профиль содержания влаги по глубине	Очень высокая точность и глубина зондирования (до 1 м и более)	Дорогое радиационное оборудование; требует обученного персонала	±1–3 %; отклик 10–60 с
Дистанционное зондирование (спутники, дроны)	Оценка влажности по отражательной способности/микроволновому сигналу (NIR, SAR и др.)	Покрытие больших территорий, возможность интеграции с ГИС и моделями; полезно для регионального планирования	Требуется калибровка с наземными датчиками, завязка на атмосферные условия	±0.1 МПа; отклик 5–20 мин
Растение-ориентированные сенсоры (microtensiometer и др.)	Прямое измерение водного статуса растения (потенциала воды в стволе, листе; электрические/оптические характеристики)	Позволяют фиксировать водный стресс до его проявления в урожайности	Высокая стоимость, сложность установки и интерпретации	точность высокая; отклик быстрый (минуты)

Как следует из таблицы 2, выбор способа для мониторинга влажности почвы должен основываться на балансе между требуемой точностью, стоимостью, условиями эксплуатации и задачами системы орошения. Традиционные методы остаются эталонными для калибровки, однако они не подходят для оперативного полевого контроля. Диэлектрические и импедансные сенсоры обеспечивают непрерывный мониторинг и хорошо интегрируются с автоматизированными системами, но требуют тщательной калибровки и контроля факторов, влияющих на измерения. Растение-ориентированные сенсоры дают наиболее полную информацию о водном статусе культуры, однако сложность их применения ограничивает использование только в специализированных интенсивных хозяйствах. Таким образом, использование различных типов датчиков влажности почвы и водного статуса растений создает основу для более точного и обоснованного управления поливом. Однако сами по себе датчики представляют лишь первичный уровень измерения, а непосредственно сам эффект достигается при их интеграции в автоматизированные системы управления орошением. Развитие цифровых технологий, IoT-платформ, беспроводных сетей передачи данных и алгоритмов анализа позволило перейти от эпизодических измерений к непрерывному, адаптивному управлению водоподачей в реальном времени [39-40].

Современные автоматизированные системы управления орошением предоставляют целый ряд стратегически важных преимуществ. Во-первых, согласно анализу Zhang T. и др. [41, с. 18] они обеспечивают значительную экономию водных ресурсов: в ряде исследований отмечено снижение потребления воды на 30 % и более без ущерба для урожайности. Во-вторых, они позволяют минимизировать трудозатраты, снизить влияние человеческого фактора и существенно повысить оперативность реакции на изменения в состоянии почвы, растения или погодных условий [42, с. 1]. В-третьих, интеграция датчиков, облачных платформ и алгоритмов анализа данных позволяет оптимизировать режим полива с учетом фактических потребностей культуры, что ведет к повышению WUE и улучшению устойчивости аграрного производства в условиях ограниченных водных и климатических ресурсов [43].

Однако, прежде чем рассматривать принцип принятия решений автоматизированными системами, необходимо заметить, что толчком к усовершенствованию оросительных систем также послужило и развитие технологий беспроводной связи [44]. Это важно, поскольку датчики, как правило, устанавливаются непосредственно на сельскохозяйственном поле и, таким образом, представляют собой сеть обмена данными между датчиками и сервером, который расположен относительно далеко от этого поля. Именно поэтому развитие систем связи, обеспечивающих непрерывный обмен данными, являет-

ся также важным фактором эволюции оросительных систем. Согласно исследованию Qian M. и др. [45], наиболее распространенными технологиями являются LoRaWAN и NB-IoT, отличающиеся низким энергопотреблением и большой дальностью передачи, что делает их эффективными для сельскохозяйственных условий с большой площадью наблюдения. В работе Zhang Y. и др. [46, с. 2] технология ZigBee использовалась для передачи данных из полевого узла, а Wi-Fi использовалась для соединения с веб-сервером. Для удаленного доступа и передачи данных на облачные серверы применяются GSM/4G/5G-модули, обеспечивающие стабильную связь в реальном времени [47]. Обмен телеметрией и управляющими командами обычно организуется через легковесные протоколы MQTT, CoAP или REST-API, что позволяет строить гибкие системы сбора данных и интеллектуального анализа [48, с. 97-98]. Сравнение основных технологий беспроводной связи, используемых для передачи данных при мониторинге агрохимических показателей, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технологии беспроводной связи в автоматизированных системах орошения

Технология связи	Дальность/ скорость передачи	Энерго-потребление	Основные преимущества	Основные ограничения
LoRaWAN суб-GHz (433/868/915 МГц)	2-10 км/ до ~50 кбит/с	Очень низкое (узкий канал, duty cycle)	Большая дальность, отличная энерго-эффективность, звездная топология с большим числом узлов	Низкая скорость, ограниченный размер пакета, duty cycle, необходимость сети шлюзов
NB-IoT / LTE-M	1-10 км/ до ~500 кбит/с	Низкое / среднее	Использует существующую сотовую инфраструктуру, хорошая чувствительность, надежность	Абонентская плата, зависимость от оператора и покрытия, высокая энергоемкость
GSM / 3G / 4G / 5G Сотовая связь	1-10 км (зона БС)/ более Мбит/с	Среднее / высокое	Высокая скорость, глобальное покрытие, простая интеграция с облачными сервисами	Существенное энергопотребление, стоимость SIM и трафика, не везде есть стабильный сигнал
Wi-Fi (2.4/5 ГГц)	до ~500 м/ до ~500 Мбит/с	Среднее	Высокая скорость, дешевое оборудование, простая интеграция с веб-интерфейсами	Небольшая дальность, сравнительно высокое энергопотребление, чувствительность к затенению и помехам
ZigBee / IEEE 802.15.4	50-150 м между узлами / до 250 кбит/с	Низкое	Низкое энергопотребление, поддержка mesh-топологии	Небольшая дальность; требует координации сети, чувствительна к помехам в 2.4 ГГц
Bluetooth Low Energy (BLE)	10-50 м/ до ~1 Мбит/с	Очень низкое	Очень низкое энергопотребление, простота интеграции со смартфонами	Очень малая дальность, непрактично для больших полей
Wi-Fi HaLow (802.11ah)	до ~2 км/ до ~5 Мбит/с	Низкое	Большая дальность, поддержка большого числа устройств	Ограниченная доступность оборудования

В таблице 3 не приведены проводные системы передачи данных, такие как RS-485, Ethernet и оптоволоконные линии. Несмотря на распространение беспроводных сетей, проводные каналы по-прежнему применяются для критически важных узлов: например, для связи контроллеров насосных станций и других исполнительных механизмов [59], т.е. там, где требуется высокая надежность.

В условиях северного Казахстана, где небольшая плотность сотовой связи, технология LoRaWAN обладает очевидным преимуществом. Рельеф в северном Казахстане плоский, а значит обеспечивает прямую видимость, позволяя одному шлюзу охватывать поля радиусом до 10 км без ретрансляторов.

Развитие коммуникационных технологий как беспроводных, так и проводных, создало основу для построения распределенных оросительных систем, однако сами по себе каналы связи не обеспечивают интеллектуального управления. Следующим ключевым элементом современных систем орошения являются сами контроллеры [60], которые собирают данные с датчиков, выполняют локальную обработку и управляют клапанами и насосами. Переход к автоматизированному принятию решений стал возможен благодаря интеграции вычислительных моделей водного баланса, алгоритмов расчета испаряемости, коэффициентов культуры, а также систем поддержки принятия решений [61], способных адаптировать режимы полива под фактическое состояние почвы и растений.

В последние годы в оросительные системы все активнее внедряются методы машинного обучения и искусственных нейронных сетей, позволяющие выполнять прогнозирование влажности, оценку водного стресса и оптимизацию расписаний полива на основе массивов полевых и метеорологических данных. Таким образом, современная система орошения представляет собой не просто сеть сенсоров и исполнительных устройств, а интеллектуальный аппаратно-программный комплекс, где контроллеры и аналитические модули играют центральную роль в преобразовании данных в эффективные решения по подаче воды.

Таблица 4 – Основные методы автоматизированного управления орошением

Тип системы / алгоритма	Принцип работы	Основные входные данные	Преимущества	Ограничения
Календарно-графиковые DSS (расписание поливов)	Полив выполняется по заранее заданному расписанию (дата/время/доза), иногда с простой коррекцией по погоде	Календарь поливов, иногда прогноз погоды, ограниченный набор датчиков	Очень простая эксплуатация, подходит для традиционных систем; дешево внедрять на существующих объектах	Практически не учитывает фактическое состояние почвы и растений, высокий риск перерасхода или недополива
Пороговые контроллеры по влажности	Полив включается/выключается при достижении заданных порогов влажности почвы или водного потенциала	Датчики влажности почвы (емкостные, TDR/FDR), тензиометры, метеодатчики	Простота реализации, высокая надежность, понятная логика	Низкая адаптивность: плохо учитывает прогноз погоды, развитие культуры и экономические критерии
Расчет ET_0 и Kc	Вычисляется потенциальная испаряемость ET_0, затем потребность культуры: ETc = $ET_0 \cdot Kc$	Метеостанция (T, RH, ветер, радиация), база коэффициентов Kc по культурам и фазам роста	Научно обоснованный подход, простота реализации	Требует качественных метеоданных, правильного выбора Kc
Модели водного баланса почвы	Ведется расчет баланса влаги в профиле: приход (осадки, полив) – расход (ETc, сток, инфильтрация)	История поливов, осадков, ET_0/ETc, измерения влажности на нескольких глубинах	Научно обоснованный подход	Параметры модели требуют калибровки; возможны накопленные ошибки
DSS на основе машинного обучения	Алгоритм ML по набору входных признаков (почва, погода, растение) оценивает необходимость или дозу полива	Исторические данные датчиков, метеоданные, параметры культуры, иногда экономические показатели	Может учитывать множество факторов; потенциально высокий прирост WUE и урожайности	Нужна обучающая выборка и постоянная валидация; сложность интерпретации; требуются надежная связь и вычислительные ресурсы
Нейронные сети (ANN, LSTM) для прогноза влажности / водного стресса	НС прогнозирует влажность почвы, ETc или водный стресс на горизонт 1–3 дня, а контроллер использует прогноз для формирования расписания полива	История влажности, погоды, поливов, иногда снимки с дронов/спутников	Позволяет работать на упреждение, учитывать сложные динамические связи; хорошо стыкуется с IoT-архитектурой	Требует хорошего набора данных; чувствительна к смене условий (новый сорт, тип почвы), требует сопровождения специалистом
Гибридные DSS (ET_0/Kc + сенсоры + ML)	ET_0/Kc и водный баланс дают базовую оценку, ML/НС корректируют ее по данным датчиков и локальным особенностям поля	ET_0, Kc, ряды влажности, метеоданные, иногда данные растения и ДЗЗ	Комбинирует интерпретируемость физических моделей с адаптивностью ИИ; дает лучшую устойчивость к изменению условий	Высокая архитектурная и программная сложность, более дорогая разработка и эксплуатация; нужны и ИИ-специалисты, и агрономы

Такое разнообразие методов автоматизированного управления орошением привело к тому, что в практике для реализации этих методов существует ряд аппаратных решений от простых микроконтроллеров до промышленных программируемых логических контроллеров (ПЛК). Выбор платформы для реализации влияет на вычислительные способности всей системы, автономность, коммуникационные возможности и ее стоимость.

Анализ источников позволяет сделать вывод, что опытные образцы прежде всего выполнены на платах расширения класса Arduino, ESP8266/32 и Raspberry Pi. Это хорошие и современные микроконтроллеры, но пригодны лишь для прототипирования. Промышленные же образцы оросительных систем выполнены в основном на программируемых логических контроллерах (ПЛК) семейства Siemens S7-1200/1500, Owen, Schneider Electric M221/M241 и других. Хотя ПЛК отличаются прежде всего надежностью, но они прежде всего просто автоматические и возможности машинного обучения в них отсутствуют. Тем не менее современная архитектура системы орошения не предполагает выбора единственной лучшей платформы, в особенности построенные на основе IoT. На практике такая система строится так, чтобы каждый класс устройств выполнял ту функцию, для которой он оптимизирован.

Заключение. Проведенный анализ технологической базы современных систем орошения позволяет сформулировать ряд выводов. Как следует из анализа по методам орошения (таблица 1), ни один из традиционных методов не обеспечивает одновременно высокой эффективности использования воды и низкой стоимости внедрения. Поверхностное орошение, при всей своей доступности, демонстрирует WUE на уровне 40-70 %, что неприемлемо для условий нарастающего водного дефицита. Капельное микроорошение с WUE до 95 % является технически оптимальным, однако его высокая стоимость и возможность применения только для овощных и плодовых культуры ограничивают ее применение. Поэтому основной вывод по методам орошения заключается в необходимости не искать замену традиционным методам орошения, а проводить их интеллектуализацию через IoT-управление или прецизионный мониторинг.

Анализ различных датчиков влажности почвы (таблица 2) показал, что не существует универсального решения. Дешевые емкостные датчики обеспечивают оптимальное соотношение стоимости, точности и скорости отклика для построения сетей полевого мониторинга. TDR/FDR-сенсоры превосходят емкостные по точности, но их высокая стоимость оправдана лишь на опорных точках сети. Микротензиометры и другие растение-ориентированные методы могут использоваться только очень специализированными интенсивными хозяйствами. БПЛА и спутники эффективны для крупного регионального планирования, но требует обязательной верификации наземными датчиками.

Анализ технологий беспроводной связи (таблица 3) показал, что для больших сельскохозяйственных полей наиболее перспективным остается LoRaWAN. Также перспективным направлением в будущем возможно станет Wi-Fi HaLow, сочетающий большую дальность с низким энергопотреблением.

Проведенный анализ систем поддержки принятия решений демонстрирует эволюцию от простых расписаний полива к многоуровневым гибридным системам. Пороговые контроллеры по влажности, несмотря на простоту реализации, скорее всего будут заменены более интеллектуальными устройствами. Методы машинного обучения и нейронные сети обеспечивают учет сложных динамических зависимостей и прогнозирование влажности на 1-3 суток вперед, однако требуют значительных объемов обучающих данных и постоянной валидации при смене агрономических условий.

Таким образом можно сделать вывод, что современные системы орошения переживают качественный переход от традиционных подходов к высокоинтеллектуальным решениям, основанным на новых технологиях и продвинутых моделях принятия решений. Результаты обзора свидетельствуют о том, что наибольший практический потенциал имеют гибридные IoT-архитектуры, интегрирующие сети локальных датчиков по LoRaWAN, физические модели ET_0/Kc и алгоритмы машинного обучения для управления водоподачей. Для условий Казахстана, характеризующихся значительными площадями сельскохозяйственных угодий, климатической изменчивостью и дефицитом водных ресурсов, данное направление представляет стратегический приоритет, способный обеспечить повышение урожайности при одновременном сокращении водо- и энергоемкости аграрного производства.

Информация о финансировании. Информация о финансировании: данное исследование финансировалось Комитетом науки МНВО РК (грант № BR28712227).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Islyami A., Aldashev A., Thomas T.S., Dunston S. Impact of climate change on agriculture in Kazakhstan** [Текст] / A. Islyami, A. Aldashev, T.S. Thomas, S. Dunston // Silk Road: A Journal of Eurasian Development. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 66–88. – DOI: 10.16997/srjed.19.

2. **Nagaibayeva Z., Amantayeva J., Mazhitova Z., Bissembayeva Z., Nessipkaliyev D. Irrigation systems of the North-Kazakhstan region during the development of virgin and fallow lands (1970s)** [Текст] / Z. Nagaibayeva, J. Amantayeva, Z. Mazhitova, Z. Bissembayeva, D. Nessipkaliyev // E3S Web of Conferences. – 2023. – Т. 371. – Art. 06016. – 8 с. – DOI: 10.1051/e3sconf/202337106016.

3. **Hasenbeck E.C., Scruggs C.E., Morgan M., Wang J., Webster A.J., Gomez C.M. Perspectives on innovative approaches in agriculture to managing water scarcity in the Middle Rio Grande Basin** [Текст] / E.C. Hasenbeck, C.E. Scruggs, M. Morgan, J. Wang, A.J. Webster, C.M. Gomez // Agriculture. – 2025. – Т. 15. – Art. 793. – DOI: 10.3390/agriculture15070793.

4. **Luque-Sánchez Á., Díaz-Cabrera J.M., Perea P. Identifying strategies to enhance irrigation efficiency under drought conditions** [Текст] / Á. Luque-Sánchez, J.M. Díaz-Cabrera, P. Perea // Journal of Environmental Management. – 2025. – Т. 394. – Art. 127439. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.127439.

5. **Farag A.A., El-Aziz M.A.A., El-Husseiny A.M. Effects of irrigation systems and water management strategies on soil chemical properties and citrus tree productivity in clayey soils** [Текст] / A.A. Farag, M.A.A. El-Aziz, A.M. El-Husseiny // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – Art. 33324. – DOI: 10.1038/s41598-025-19575-6.

6. **Yao Y., Thiery W., Ducharne A. et al. Irrigation-induced land water depletion aggravated by climate change** [Текст] / Y. Yao, W. Thiery, A. Ducharne et al. // Nature Water. – 2025. – Т. 3. – С. 1424–1435. – DOI: 10.1038/s44221-025-00529-1.

7. **Hrozencik A., Perez-Quesada G., Donahue H. The development and current challenges of irrigated agriculture in the western U.S.** [Текст] / A. Hrozencik, G. Perez-Quesada, H. Donahue // Agricultural Water Management. – 2025. – Т. 315. – Art. 109474. – DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109474.

8. **Vranešević M., Mešeldžija M., Grabić J., Zemunac R., Boukalova Z. Irrigation water quality in a framework of Sustainable Development Goal 6: a review of challenges, impacts, policy alignments** [Текст] / M. Vranešević, M. Mešeldžija, J. Grabić, R. Zemunac, Z. Boukalova // Frontiers in Agronomy. – 2025. – Т. 7. – Art. 1580338. – DOI: 10.3389/fagro.2025.1580338.

9. **Hoffmann P., Villamayor-Tomas S. Irrigation modernization and the efficiency paradox: a meta-study through the lens of Networks of Action Situations** [Текст] / P. Hoffmann, S. Villamayor-Tomas // Sustainability Science. – 2023. – Т. 18. – С. 181–199. – DOI: 10.1007/s11625-022-01136-9.

10. **Chávez C., Fuentes S., Fuentes C., Brambila-Paz F., Trejo-Alonso J. How surface irrigation contributes to climate change resilience: a case study of practices in Mexico** [Текст] / C. Chávez, S. Fuentes, C. Fuentes, F. Brambila-Paz, J. Trejo-Alonso // Sustainability. – 2022. – Т. 14, № 13. – Art. 7689. – DOI: 10.3390/su14137689.

11. **Kumar P. A review on types of irrigation system and their advantages** [Текст] / P. Kumar // International Journal of Research and Analytical Reviews. – 2018. – Т. 5, № 3. – С. 79–84.

12. **Yang P., Wu L., Cheng M., Fan J., Li S., Wang H., Qian L. Review on drip irrigation: impact on crop yield, quality, and water productivity in China** [Текст] / P. Yang, L. Wu, M. Cheng, J. Fan, S. Li, H. Wang, L. Qian // Water. – 2023. – Т. 15. – Art. 1733. – DOI: 10.3390/w15091733.

13. **Masseroni D., Gangi F., Ghilardelli F. et al. Assessing the water conservation potential of optimized surface irrigation management in Northern Italy** [Текст] / D. Masseroni, F. Gangi, F. Ghilardelli et al. // Irrigation Science. – 2024. – Т. 42. – С. 75–97. – DOI: 10.1007/s00271-023-00876-5.

14. **Salman A.K. et al. Assessing irrigation system efficiency within the Water-Energy-Food Nexus: introducing energy performance metrics** [Текст] / A.K. Salman et al. // Agricultural Water Management. – 2025. – Т. 317. – Art. 109665. – DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109665.

15. **Abd-Elaty I., Ramadan E.M., Elbagory I.A., Nosair A.M., Kuriqi A., Garrote L., Ahmed A.A. Optimizing irrigation systems for water efficiency and groundwater sustainability in the coastal Nile Delta** [Текст] / I. Abd-Elaty, E.M. Ramadan, I.A. Elbagory, A.M. Nosair, A. Kuriqi, L. Garrote, A.A. Ahmed // Agricultural Water Management. – 2024. – Т. 304. – Art. 109064. – DOI: 10.1016/j.agwat.2024.109064.

16. **Chauhdary J.N., Li H., Jiang Y., Pan X., Hussain Z., Javaid M., Rizwan M. Advances in sprinkler irrigation: a review in the context of precision irrigation for crop production** [Текст] / J.N. Chauhdary, H. Li, Y. Jiang, X. Pan, Z. Hussain, M. Javaid, M. Rizwan // Agronomy. – 2024. – Т. 14, № 1. – Art. 47. – DOI: 10.3390/agronomy14010047.

17. **Santini A., Masiero M., Amato G., Pettenella D.M. From flood to drip irrigation: a review of irrigation modernization trade-offs** [Текст] / A. Santini, M. Masiero, G. Amato, D.M. Pettenella // Water. – 2025. – Т. 17, № 20. – Art. 3018. – DOI: 10.3390/w17203018.

18. **Guo H., Li S. A review of drip irrigation's effect on water, carbon fluxes, and crop growth in farmland** [Текст] / H. Guo, S. Li // Water. – 2024. – Т. 16, № 15. – Art. 2206. – DOI: 10.3390/w16152206.

19. **Kumar S.V., Singh C.D., Upendar K. Review on IoT based precision irrigation system in agriculture** [Текст] / S.V. Kumar, C.D. Singh, K. Upendar // Current Journal of Applied Science and Technology. – 2020. – Т. 39, № 45. – С. 15–26. – DOI: 10.9734/cjast/2020/v39i4531156.

20. **Ogidan O.K., Elesemoyo I., Babalola H. Automated irrigation and fogging system with temperature predictive capability for greenhouse farming** [Текст] / O.K. Ogidan, I. Elesemoyo, H. Babalola // Proceedings of the 8th URSI-NG Annual Conference (URSI-NG 2024). Advances in Physics Research. – 2025. – С. 157–167. – DOI: 10.2991/978-94-6463-644-4_15.

21. **Siyal A.A., Babiker A.E., Bainbridge D.A. Subsurface porous clay pipe irrigation: a sustainable solution for agriculture in arid regions** [Текст] / A.A. Siyal, A.E. Babiker, D.A. Bainbridge // Academic Journal of Agricultural Research. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 1–7. – DOI: 10.15413/ajar.2024.0101.

22. **Di Biase R., Calabritto M., Mininni A.N. et al. Microtensiometer-based trunk water potential as a plant water status indicator in kiwifruit under different soil water availability** [Текст] / R. Di Biase, M. Calabritto, A.N. Mininni et al. // Irrigation Science. – 2025. – Т. 43. – С. 937–954. – DOI: 10.1007/s00271-025-01020-1.

23. **Rasheed M.W., Tang J., Sarwar A., Shah S., Saddique N., Khan M.U., Imran Khan M., Nawaz S., Shamshiri R.R., Aziz M. et al. Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: a comprehensive review** [Текст] / M.W. Rasheed, J. Tang, A. Sarwar, S. Shah, N. Saddique, M.U. Khan, M. Imran Khan, S. Nawaz, R.R. Shamshiri, M. Aziz et al. // Sustainability. – 2022. – Т. 14, № 18. – Art. 11538. – DOI: 10.3390/su141811538.

24. **Abdelmoneim A.A., Al Kalaany C.M., Khadra R., Derardja B., Dragonetti G. Calibration of low-cost capacitive soil moisture sensors for irrigation management applications** [Текст] / A.A. Abdelmoneim, C.M. Al Kalaany, R. Khadra, B. Derardja, G. Dragonetti // Sensors. – 2025. – Т. 25, № 2. – Art. 343. – DOI: 10.3390/s25020343.

25. **Makni N., Collu R., Barbaro M. Development of optical and electrical sensors for non-invasive monitoring of plant water status** [Текст] / N. Makni, R. Collu, M. Barbaro // Journal of Sensor and Actuator Networks. – 2025. – Т. 14, № 5. – Art. 103. – DOI: 10.3390/jsan14050103.

26. **Shawon S.M., Neha N.I., Jui A.N., Dey N., Zubair H.T. Advances in soil moisture measurement techniques and prediction using artificial intelligence: an extensive and systematic review** [Текст] / S.M. Shawon, N.I. Neha, A.N. Jui, N. Dey, H.T. Zubair // Smart Agricultural Technology. – 2025. – Т. 12. – Art. 101613. – DOI: 10.1016/j.atech.2025.101613.

27. **Bhatt R., Arora S. Soil matric potential-based irrigation using tensiometer for conserving irrigation water** [Текст] / R. Bhatt, S. Arora // Current Science. – 2021. – Т. 121, № 2. – С. 197–200.

28. **Ezekiel O., Danbaki B.A., Fabumi G.T. Performance evaluation of gypsum block, tensiometer and moisture sensor for soil moisture content determination** [Текст] / O. Ezekiel, B.A. Danbaki, G.T. Fabumi // Journal of Agricultural Engineering and Technology. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 103–111.

29. **Gümüser M.A., Pichlhöfer A., Korjenic A. A comparison of capacitive soil moisture sensors in different substrates for use in irrigation systems** [Текст] / M.A. Gümüser, A. Pichlhöfer, A. Korjenic // Sensors. – 2025. – Т. 25. – Art. 1461. – DOI: 10.3390/s25051461.

30. **Ebstu E., Hatiye S., Goshime D. et al. Development and testing of a low-cost soil moisture sensor for real-time irrigation scheduling** [Текст] / E. Ebstu, S. Hatiye, D. Goshime et al. // Irrigation and Drainage. – 2025. – С. 1–15. – DOI: 10.1002/ird.70026.

31. **Bagada P., Damor P.A., Patel R.J., Patel K.C., Patel D.J., Parmar H.V., Rank P.H., Vekariya P.B. Enhancing soil moisture sensors for optimized agricultural water management: a comprehensive review** [Текст] / P. Bagada, P.A. Damor, R.J. Patel, K.C. Patel, D.J. Patel, H.V. Parmar, P.H. Rank, P.B. Vekariya // Plant Archives. – 2025. – Т. 25, специальный выпуск ICTPAIRS-JAU. – С. 879–888. – DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2025.v25.SP.ICTPAIRS-126.

32. **Yao Y., Fan J., Li J. A review of advanced soil moisture monitoring techniques for slope stability assessment** [Текст] / Y. Yao, J. Fan, J. Li // Water. – 2025. – Т. 17, № 3. – Art. 390. – DOI: 10.3390/w17030390.

33. **Pavanello M., Bordoni M., Vivaldi V., Reguzzoni M., Tamburini A., Villa F., Meisina C. Low-cost sensors for the measurement of soil water content for rainfall-induced shallow landslide early warning systems** [Текст] / M. Pavanello, M. Bordoni, V. Vivaldi, M. Reguzzoni, A. Tamburini, F. Villa, C. Meisina // Water. – 2024. – Т. 16, № 22. – Art. 3244. – DOI: 10.3390/w16223244.

34. **Zhang Z., Ou H., Shi Y., Ye Y., Sang Y., Zhang S., Zhang J. Application of cosmic-ray neutron probes for measuring soil moisture in rocky areas of the Taihang Mountains, North China** [Текст] / Z. Zhang, H. Ou, Y. Shi, Y. Ye, Y. Sang, S. Zhang, J. Zhang // Vadose Zone Journal. – 2023. – Т. 22. – Art. e20291. – DOI: 10.1002/vzj2.20291.

35. **Vahidi M., Shafian S., Frame W.H. Precision soil moisture monitoring through drone-based hyperspectral imaging and PCA-driven machine learning** [Текст] / M. Vahidi, S. Shafian, W.H. Frame // Sensors. – 2025. – Т. 25, № 3. – Art. 782. – DOI: 10.3390/s25030782.

36. **Díaz-Delgado R., Buysse P., Peres T., Houet T., Hamon Y., Faucheux M., Fovert O. Mapping soil moisture using drones: challenges and opportunities** [Текст] / R. Díaz-Delgado, P. Buysse, T. Peres, T. Houet, Y. Hamon, M. Faucheux, O. Fovert // Engineering Proceedings. – 2025. – Т. 94, № 1. – Art. 18. – DOI: 10.3390/engproc2025094018.

37. **Vaccaro G., Fusco M., Alagna V., Franco L., Motisi A., Iovino M. Assessing microtensiometers for monitoring stem water potential in mandarin (Citrus reticulata Blanco) orchard under different irrigation regimes** [Текст] / G. Vaccaro, M. Fusco, V. Alagna, L. Franco, A. Motisi, M. Iovino // Agricultural Water Management. – 2025. – Т. 320. – Art. 109873. – DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109873.

38. **Makni N., Collu R., Barbaro M. Development of optical and electrical sensors for non-invasive monitoring of plant water status** [Текст] / N. Makni, R. Collu, M. Barbaro // Journal of Sensor and Actuator Networks. – 2025. – Т. 14, № 5. – Art. 103. – DOI: 10.3390/jsan14050103.

39. **Duguma A.L., Bai X. How the Internet of Things technology improves agricultural efficiency** [Текст] / A.L. Duguma, X. Bai // Artificial Intelligence Review. – 2025. – Т. 58. – Art. 63. – DOI: 10.1007/s10462-024-11046-0.

40. **Liu L., Cheng W., Kuo H.-W. A narrative review on smart sensors and IoT solutions for sustainable agriculture and aquaculture practices** [Текст] / L. Liu, W. Cheng, H.-W. Kuo // Sustainability. – 2025. – Т. 17, № 12. – Art. 5256. – DOI: 10.3390/su17125256.

41. **Zhang T., Cai J., Wang S., Lv L., Yuan D., Zeng X., Li J., Li Y. Identification and expression analysis of the ethylene response factor gene family in tea plant (Camellia sinensis)** [Текст] / T. Zhang, J. Cai, S. Wang, L. Lv, D. Yuan, X. Zeng, J. Li, Y. Li // Agronomy. – 2023. – Т. 13, № 7. – Art. 1900. – DOI: 10.3390/agronomy13071900.

42. **Wang P., Su G., Yang W., Jing P. Research on safety interlock system design and control experiment of combined support and anchor equipment** [Текст] / P. Wang, G. Su, W. Yang, P. Jing // Sensors. – 2022. – Т. 22, № 16. – Art. 6058. – DOI: 10.3390/s22166058.

43. **Lakhiar I.A., Yan H., Zhang C., Wang G., He B., Hao B., Han Y., Wang B., Bao R., Syed T.N. et al. A review of precision irrigation water-saving technology under changing climate for enhancing water use efficiency, crop yield, and environmental footprints** [Текст] / I.A. Lakhiar, H. Yan, C. Zhang, G. Wang, B. He, B. Hao, Y. Han, B. Wang, R. Bao, T.N. Syed et al. // Agriculture. – 2024. – Т. 14, № 7. – Art. 1141. – DOI: 10.3390/agriculture14071141.

44. **García L., Parra L., Jimenez J.M., Lloret J., Lorenz P. IoT-based smart irrigation systems: an overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture** [Текст] / L. García, L. Parra, J.M. Jimenez, J. Lloret, P. Lorenz // Sensors. – 2020. – Т. 20, № 4. – Art. 1042. – DOI: 10.3390/s20041042.

45. **Qian M., Qian C., Xu G., Tian P., Yu W. Smart irrigation systems from cyber–physical perspective: state of art and future directions** [Текст] / M. Qian, C. Qian, G. Xu, P. Tian, W. Yu // Future Internet. – 2024. – Т. 16, № 7. – Art. 234. – DOI: 10.3390/fi16070234.

46. **Zhang Y., Wang X., Jin L., Ni J., Zhu Y., Cao W., Jiang X. Research and development of an IoT smart irrigation system for farmland based on LoRa and edge computing** [Текст] / Y. Zhang, X. Wang, L. Jin, J. Ni, Y. Zhu, W. Cao, X. Jiang // Agronomy. – 2025. – Т. 15, № 2. – Art. 366. – DOI: 10.3390/agronomy15020366.

47. **Rehman W., Koondhar M.A., Afridi S.K., Albasha L., Smaili I.H., Touti E., Aoudia M., Zahrouni W., Mahariq I., Ahmed M.M.R. The role of 5G network in revolutionizing agriculture for sustainable development: a comprehensive review** [Текст] / W. Rehman, M.A. Koondhar, S.K. Afridi, L. Albasha, I.H. Smaili, E. Touti, M. Aoudia, W. Zahrouni, I. Mahariq, M.M.R. Ahmed // Energy Nexus. – 2025. – Т. 17. – Art. 100368. – DOI: 10.1016/j.nexus.2025.100368.

48. **Turnip A. Design of smart farming communication and web interface: an implementation using MQTT protocol** [Текст] / A. Turnip // Open Agriculture. – 2023. – Т. 8. – С. 97–105. – DOI: 10.1515/opag-2022-0159.

49. **Liopa-Tsakalidi A., Thomopoulos V., Barouchas P., Boursianis A.D., Goudos S.K. A LoRaWAN-based IoT platform for smart irrigation in olive groves** [Текст] / A. Liopa-Tsakalidi, V. Thomopoulos, P. Barouchas, A.D. Boursianis, S.K. Goudos // Smart Agricultural Technology. – 2024. – Т. 9. – Art. 100673. – DOI: 10.1016/j.atech.2024.100673.

50. **Taji K., Ghanimi F. LoRaWAN-based smart irrigation systems: a literature review** [Текст] / K. Taji, F. Ghanimi // Artificial Intelligence, Big Data, IoT and Blockchain in Healthcare: From Concepts to Applications / под ред. Y. Farhaoui. – Cham: Springer, 2024. – Information Systems Engineering and Management. – Т. 6. – С. 22–34. – DOI: 10.1007/978-3-031-65018-5_3.

51. **Liu X., Zhao Z., Rezaeipanah A. Intelligent and automatic irrigation system based on Internet of Things using fuzzy control technology** [Текст] / X. Liu, Z. Zhao, A. Rezaeipanah // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – Art. 14577. – DOI: 10.1038/s41598-025-98137-2.

52. **Majumdar P., Bhattacharya D., Mitra S. Utilities of 5G communication technologies for promoting advancement in Agriculture 4.0: recent trends, research issues and review of literature** [Текст] / P. Majumdar, D. Bhattacharya, S. Mitra // 5G and Beyond / под ред. B. Bhushan, S.K. Sharma, R. Kumar, I. Priyadarshini. – Singapore: Springer, 2023. – Springer Tracts in Electrical and Electronics Engineering. – С. 111–125. – DOI: 10.1007/978-981-99-3668-7_6.

53. **Mohiuddin M., Islam M.S., Shanjida S. Internet of Things (IoT)-based smart agriculture irrigation and monitoring system using Ubidots server** [Текст] / M. Mohiuddin, M.S. Islam, S. Shanjida // Engineering Proceedings. – 2024. – Т. 82, № 1. – Art. 99. – DOI: 10.3390/ecsa-11-20528.

54. **Deng B. Design of smart agriculture Internet of Things system based on ZigBee and CC2530 module** [Текст] / B. Deng // Proceedings of the 2024 IEEE 3rd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA). – Changchun, China, 2024. – С. 1165–1168. – DOI: 10.1109/EEBDA60612.2024.10485730.

55. **Zhong X., Qiao R., Wang X. Application of ZigBee technology in smart soil temperature and humidity control systems** [Текст] / X. Zhong, R. Qiao, X. Wang // Frontiers in Science and Engineering. – 2024. – Т. 4, № 6. – С. 135–140. – DOI: 10.54691/z66ef284.

56. **Craven S., Bee A., Sanders B., Hammari E., Bond C., Kerry R., Hansen N., Mazzeo B.A. Smart Bluetooth stakes: deployment of soil moisture sensors with rotating high-gain antenna receiver on center pivot irrigation boom in a commercial wheat field** [Текст] / S. Craven, A. Bee, B. Sanders,

E. Hammari, C. Bond, R. Kerry, N. Hansen, B.A. Mazzeo // Sensors. – 2025. – Т. 25, № 17. – Art. 5537. – DOI: 10.3390/s25175537.

57. Al **Jebory Z., Miry A.H., Aramice G.A. Agriculture based on wireless sensor network: literature survey** [Текст] / Z. Al Jebory, A.H. Miry, G.A. Aramice // Wasit Journal of Engineering Sciences. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 171–190. – DOI: 10.31185/ejuow.Vol12.Iss4.610.

58. **Hargreave K., Liu V., Kane L. Optimising Wi-Fi HaLow connectivity: a framework for variable environmental and application demands** [Текст] / K. Hargreave, V. Liu, L. Kane // Electronics. – 2025. – Т. 14, № 13. – Art. 2733. – DOI: 10.3390/electronics14132733.

59. **Puig F., Rodríguez Díaz J.A., Soriano M.A. Development of a low-cost open-source platform for smart irrigation systems** [Текст] / F. Puig, J.A. Rodríguez Díaz, M.A. Soriano // Agronomy. – 2022. – Т. 12, № 12. – Art. 2909. – DOI: 10.3390/agronomy12122909.

60. **Singh A.K., Shreya, Khatoon S. et al. A comprehensive review of recent advances in intelligent controller development for smart irrigation systems** [Текст] / A.K. Singh, Shreya, S. Khatoon et al. // Discover Computing. – 2025. – Т. 28. – Art. 239. – DOI: 10.1007/s10791-025-09762-4.

61. **Ahmad U., Sohel F. Evaluating decision support systems for precision irrigation and water use efficiency** [Текст] / U. Ahmad, F. Sohel // Digital Engineering. – 2025. – Т. 4. – Art. 100038. – DOI: 10.1016/j.dte.2025.100038.

62. **Bryant C.J., Spencer G.D., Gholson D.M., Plumblee M.T., Dodds D.M., Oakley G.R., Reynolds D.Z., Krutz L.J. Development of a soil moisture sensor-based irrigation scheduling program for the midsouthern United States** [Текст] / C.J. Bryant, G.D. Spencer, D.M. Gholson, M.T. Plumblee, D.M. Dodds, G.R. Oakley, D.Z. Reynolds, L.J. Krutz // Crop, Forage & Turfgrass Management. – 2023. – Т. 9. – Art. e20217. – DOI: 10.1002/cft2.20217.

63. **Pereira L.S., Paredes P., Jovanovic N. Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach** [Текст] / L.S. Pereira, P. Paredes, N. Jovanovic // Agricultural Water Management. – 2020. – Т. 241. – Art. 106357. – DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106357.

64. **Vélez S., Martínez-Peña R., Valente J., Ariza-Sentís M., Sirnik I., Pardo M.Á. A decision support system (DSS) for irrigation oversizing diagnosis using geospatial canopy data and irrigation ecolabels** [Текст] / S. Vélez, R. Martínez-Peña, J. Valente, M. Ariza-Sentís, I. Sirnik, M.Á. Pardo // AgriEngineering. – 2025. – Т. 7, № 12. – Art. 429. – DOI: 10.3390/agriengineering7120429.

65. **Bhatti S., Heeren D.M., O'Shaughnessy S.A. et al. Toward automated irrigation management with integrated crop water stress index and spatial soil water balance** [Текст] / S. Bhatti, D.M. Heeren, S.A. O'Shaughnessy et al. // Precision Agriculture. – 2023. – Т. 24, № 6. – С. 2223–2247. – DOI: 10.1007/s11119-023-10038-4.

66. **Umutoni L., Samadi V. Application of machine learning approaches in supporting irrigation decision making: a review** [Текст] / L. Umutoni, V. Samadi // Agricultural Water Management. – 2024. – Т. 294. – Art. 108710. – DOI: 10.1016/j.agwat.2024.108710.

67. **Saggi M.K., Jain S. A survey towards decision support system on smart irrigation scheduling using machine learning approaches** [Текст] / M.K. Saggi, S. Jain // Archives of Computational Methods in Engineering. – 2022. – Т. 29, № 6. – С. 4455–4478. – DOI: 10.1007/s11831-022-09746-3.

68. **Jia W., Zhang Y., Wei Z., Zheng Z., Xie P. Daily reference evapotranspiration prediction for irrigation scheduling decisions based on the hybrid PSO-LSTM model** [Текст] / W. Jia, Y. Zhang, Z. Wei, Z. Zheng, P. Xie // PLOS ONE. – 2023. – Т. 18, № 4. – Art. e0281478. – DOI: 10.1371/journal.pone.0281478.

69. **Yu J., Qu Q., Peng S., Wei X., Li Y., Sun C. Deep learning for intelligent irrigation decision-making: a review** [Текст] / J. Yu, Q. Qu, S. Peng, X. Wei, Y. Li, C. Sun // Agricultural Water Management. – 2025. – Т. 320. – Art. 109836. – DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109836.

REFERENCES:

1. **Islyami A., Aldashev A., Thomas T.S., Dunston S. Impact of climate change on agriculture in Kazakhstan.** *Silk Road: A Journal of Eurasian Development*. 2020, vol. 2, iss. 1, pp. 66–88. https://doi.org/10.16997/srjed.19.

2. **Nagaibayeva Z., Amantayeva J., Mazhitova Z., Bissembayeva Z., Nessipkaliyev D. Irrigation systems of the North-Kazakhstan region during the development of virgin and fallow lands (1970s).** *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 371, art. 06016. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337106016.

3. **Hasenbeck E.C., Scruggs C.E., Morgan M., Wang J., Webster A.J., Gomez C.M. Perspectives on innovative approaches in agriculture to managing water scarcity in the Middle Rio Grande Basin**. *Agriculture*, 2025, vol. 15, art. 793. https://doi.org/10.3390/agriculture15070793.

4. **Luque-Sánchez Á., Díaz-Cabrera J.M., Perea P. Identifying strategies to enhance irrigation efficiency under drought conditions.** *Journal of Environmental Management*, 2025, vol. 394, art. 127439. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127439.

5. **Farag A.A., El-Aziz M.A.A., El-Husseiny A.M. Effects of irrigation systems and water management strategies on soil chemical properties and citrus tree productivity in clayey soils**. *Scientific Reports*, 2025, vol. 15, art. 33324. https://doi.org/10.1038/s41598-025-19575-6.

6. **Yao Y., Thiery W., Ducharne A. et al. Irrigation-induced land water depletion aggravated by climate change.** *Nature Water*, 2025. https://doi.org/10.1038/s44221-025-00529-1.

7. **Hrozencik A., Perez-Quesada G., Donahue H. The development and current challenges of irrigated agriculture in the western U.S.** *Agricultural Water Management*, 2025, vol. 315, art. 109474. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109474.

8. **Vranešević M., Mešeldžija M., Grabić J., Zemunac R., Boukalova Z. Irrigation water quality in a framework of sustainable development goal 6: a review of challenges, impacts, policy alignments.** *Frontiers in Agronomy*, 2025, vol. 7, art. 1580338. https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1580338.

9. **Hoffmann P., Villamayor-Tomas S. Irrigation modernization and the efficiency paradox: a meta-study through the lens of Networks of Action Situations.** *Sustainability Science*, 2023, vol. 18, pp. 181–199. https://doi.org/10.1007/s11625-022-01136-9.

10. **Chávez C., Fuentes S., Fuentes C., Brambila-Paz F., Trejo-Alonso J. How surface irrigation contributes to climate change resilience – a case study of practices in Mexico.** *Sustainability*, 2022, vol. 14, issue 13, art. 7689. https://doi.org/10.3390/su14137689.

11. **Kumar P. A review on types of irrigation system and their advantages.** *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 2018, vol. 5, iss. 3, pp. 79–84.

12. **Yang P., Wu L., Cheng M., Fan J., Li S., Wang H., Qian L. Review on drip irrigation: impact on crop yield, quality, and water productivity in China.** *Water*, 2023, vol. 15, art. 1733. https://doi.org/10.3390/w15091733.

13. **Masseroni D., et al. Assessing the water conservation potential of optimized surface-irrigation systems under changing climate conditions.** *Irrigation Science*, 2024, vol. 42, art. 57. https://doi.org/10.1007/s00271-023-00876-5.

14. **Salman A.K., et al. Assessing irrigation system efficiency within the water-energy nexus: a focus on surface irrigation districts.** *Agricultural Water Management*, 2025, vol. 317, art. 109665. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109665.

15. **Abd-Elaty I., Ramadan E.M., Elbagory I.A., et al. Optimizing irrigation systems for water efficiency and groundwater sustainability in the coastal Nile Delta.** *Agricultural Water Management,* 2024, vol. 304, art. 109064. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109064.

16. **Chauhdary J.N., Li H., Jiang Y., et al. Advances in sprinkler irrigation: a review in the context of precision irrigation for crop production.** *Agronomy*, 2024, vol. 14, iss. 1, art. 47. https://doi.org/10.3390/agronomy14010047.

17. **Santini A., Masiero M., Amato G., Pettenella D.M. From flood to drip irrigation: a review of irrigation modernization trade-offs.** *Water*, 2025, vol. 17, iss. 20, art. 3018. https://doi.org/10.3390/w17203018.

18. **Guo H., Li S. A review of drip irrigation's effect on water, carbon fluxes, and crop growth in farmland.** *Water*, 2024, vol. 16, iss. 15, art. 2206. https://doi.org/10.3390/w16152206.

19. **Kumar S.V., Singh C.D., Upendar K. Review on IoT based precision irrigation system in agriculture.** *Current Journal of Applied Science and Technology*, 2020, vol. 39, issue 45, pp. 15–26. https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i4531156.

20. **Ogidan O.K., Elesemoyo I., Babalola H. Automated irrigation and fogging system with temperature predictive capability for greenhouse farming**. *Proceedings of the 8th URSI-NG Annual Conference (URSI-NG 2024)*, 2025, Advances in Physics Research, pp. 157–167. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-644-4_15.

21. **Siyal A.A., Babiker A.E., Bainbridge D.A. Subsurface porous clay pipe irrigation: a sustainable solution for agriculture in arid regions.** *Academic Journal of Agricultural Research*, 2024, vol. 12, iss. 1, pp. 001–007. https://doi.org/10.15413/ajar.2024.0101.

22. **Di Biase R., Calabritto M., Mininni A.N., et al. Microtensiometer-based trunk water potential as a plant water status indicator in kiwifruit under different soil water availability.** *Irrigation Science,* 2025, vol. 43, pp. 937–954. https://doi.org/10.1007/s00271-025-01020-1.

23. **Rasheed M.W., Tang J., Sarwar A., et al. Soil moisture measuring techniques and factors affecting the moisture dynamics: a comprehensive review.** *Sustainability*, 2022, vol. 14, issue 18, art. 11538. https://doi.org/10.3390/su141811538.

24. **Abdelmoneim A.A., Al Kalaany C.M., Khadra R., Derardja B., Dragonetti G. Calibration of low-cost capacitive soil moisture sensors for irrigation management applications.** *Sensors*, 2025, vol. 25, iss. 2, art. 343. https://doi.org/10.3390/s25020343.

25. **Makni N., Collu R., Barbaro M. Development of optical and electrical sensors for non-invasive monitoring of plant water status.** *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2025, vol. 14, iss. 5, art. 103. https://doi.org/10.3390/jsan14050103.

26. **Shawon S.M., Neha N.I., Jui A.N., Dey N., Zubair H.T. Advances in soil moisture measurement techniques and prediction using artificial intelligence: an extensive and systematic review.** *Smart Agricultural Technology*, 2025, art. 101613. https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101613.

27. **Bhatt R., Arora S. Soil matric potential-based irrigation using tensiometer for conserving irrigation water.** *Current Science*, 2021, vol. 121, iss. 2, pp. 197–200.

28. **Ezekiel O., Danbaki B.A., Fabumi G.T. Performance evaluation of gypsum block, tensiometer and moisture sensor for soil moisture content determination.** *Journal of Agricultural Engineering and Technology*, 2021, vol. 26, iss. 2, pp. 103–111.

29. **Gümüser M.A., Pichlhöfer A., Korjenic A. A comparison of capacitive soil moisture sensors in different substrates for use in irrigation systems.** *Sensors*, 2025, vol. 25, art. 1461. https://doi.org/10.3390/s25051461.

30. **Ebstu E., Hatiye S., Goshime D., et al. Development and testing of a low-cost soil moisture sensor for real-time irrigation scheduling.** *Irrigation and Drainage*, 2025, pp. 1–15. https://doi.org/10.1002/ird.70026.

31. **Bagada P., Damor P.A., Patel R.J., et al. Enhancing soil moisture sensors for optimized agricultural water management: a comprehensive review.** *Plant Archives*, 2025, vol. 25, special issue (ICTPAIRS-JAU, Junagadh), pp. 879–888. https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2025.v25.SP.ICTPAIRS-126.

32. **Yao Y., Fan J., Li J. A review of advanced soil moisture monitoring techniques for slope stability assessment.** *Water*, 2025, vol. 17, iss. 3, art. 390. https://doi.org/10.3390/w17030390.

33. **Pavanello M., Bordoni M., Vivaldi V., et al. Low-cost sensors for the measurement of soil water content for rainfall-induced shallow landslide early warning systems.** *Water*, 2024, vol. 16, issue 22, art. 3244. https://doi.org/10.3390/w16223244.

34. **Zhang Z., Ou H., Shi Y., et al. Application of cosmic-ray neutron probes for measuring soil moisture in rocky areas of the Taihang Mountains, North China.** *Vadose Zone Journal*, 2023, vol. 22, art. e20291. https://doi.org/10.1002/vzj2.20291.

35. **Vahidi M., Shafian S., Frame W.H. Precision soil moisture monitoring through drone-based hyperspectral imaging and PCA-driven machine learning.** *Sensors*, 2025, vol. 25, iss. 3, art. 782. https://doi.org/10.3390/s25030782.

36. **Díaz-Delgado R., Buysse P., Peres T., et al. Mapping soil moisture using drones: challenges and opportunities.** *Engineering Proceedings*, 2025, vol. 94, issue 1, art. 18. https://doi.org/10.3390/engproc2025094018.

37. **Vaccaro G., Fusco M., Alagna V., et al. Assessing microtensiometers for monitoring stem water potential in mandarin (Citrus reticulata Blanco) orchard under different irrigation regimes.** *Agricultural Water Management*, 2025, vol. 320, art. 109873. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109873.

38. **Makni N., Collu R., Barbaro M. Development of optical and electrical sensors for non-invasive monitoring of plant water status.** *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2025, vol. 14, iss. 5, art. 103. https://doi.org/10.3390/jsan14050103.

39. **Duguma A.L., Bai X. How the Internet of Things technology improves agricultural efficiency.** *Artificial Intelligence Review*, 2025, vol. 58, art. 63. https://doi.org/10.1007/s10462-024-11046-0.

40. **Liu L., Cheng W., Kuo H.-W. A narrative review on smart sensors and IoT solutions for sustainable agriculture and aquaculture practices.** *Sustainability*, 2025, vol. 17, iss. 12, art. 5256. https://doi.org/10.3390/su17125256.

41. **Zhang T., Cai J., Wang S., et al. Identification and expression analysis of the ethylene response factor gene family in tea plant (Camellia sinensis).** *Agronomy*, 2023, vol. 13, iss. 7, art. 1900. https://doi.org/10.3390/agronomy13071900.

42. **Wang P., Su G., Yang W., Jing P. Research on safety interlock system design and control experiment of combined support and anchor equipment.** *Sensors*, 2022, vol. 22, iss. 16, art. 6058. https://doi.org/10.3390/s22166058.

43. **Lakhiar I.A., Yan H., Zhang C., et al. A review of precision irrigation water-saving technology under changing climate for enhancing water use efficiency, crop yield, and environmental footprints.** *Agriculture*, 2024, vol. 14, iss. 7, art. 1141. https://doi.org/10.3390/agriculture14071141.

44. **García L., Parra L., Jimenez J.M., Lloret J., Lorenz P. IoT-based smart irrigation systems: an overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture.** *Sensors*, 2020, vol. 20, iss. 4, art. 1042. https://doi.org/10.3390/s20041042.

45. **Qian M., Qian C., Xu G., Tian P., Yu W. Smart irrigation systems from cyber–physical perspective: state of art and future directions.** *Future Internet*, 2024, vol. 16, iss. 7, art. 234. https://doi.org/10.3390/fi16070234.

46. **Zhang Y., Wang X., Jin L., et al. Research and development of an IoT smart irrigation system for farmland based on LoRa and edge computing.** *Agronomy*, 2025, vol. 15, iss. 2, art. 366. https://doi.org/10.3390/agronomy15020366.

47. **Rehman W., Koondhar M.A., Afridi S.K., et al. The role of 5G network in revolutionizing agriculture for sustainable development: a comprehensive review.** *Energy Nexus*, 2025, vol. 17, art. 100368. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100368.

48. **Turnip A. Design of smart farming communication and web interface: an implementation using MQTT protocol.** *Open Agriculture Journal*, 2023, vol. 8, pp. 97–105. https://doi.org/10.1515/opag-2022-0159.

49. **Liopa-Tsakalidi A., Thomopoulos V., Barouchas P., Boursianis A.D., Goudos S.K. A LoRaWAN-based IoT platform for smart irrigation in olive groves.** *Smart Agricultural Technology*, 2024, vol. 9, art. 100673. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100673.

50. **Taji K., Ghanimi F. LoRaWAN-based smart irrigation systems: a literature review. In: Farhaoui Y. (ed.) Artificial Intelligence, Big Data, IoT and Blockchain in Healthcare: From Concepts to Applications. BDBI 2024.** *Information Systems Engineering and Management*, vol. 6. Cham: Springer, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65018-5_3.

51. **Liu X., Zhao Z., Rezaeipanah A. Intelligent and automatic irrigation system based on Internet of Things using fuzzy control technology.** *Scientific Reports,* 2025, vol. 15, art. 14577. https://doi.org/10.1038/s41598-025-98137-2.

52. **Majumdar P., Bhattacharya D., Mitra S. Utilities of 5G communication technologies for promoting advancement in Agriculture 4.0: recent trends, research issues and review of literature. 5G and Beyond. Springer** *Tracts in Electrical and Electronics Engineering. Singapore: Springer,* 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3668-7_6.

53. **Mohiuddin M., Islam M.S., Shanjida S. Internet of Things (IoT)-based smart agriculture irrigation and monitoring system using Ubidots server.** *Engineering Proceedings*, 2024, vol. 82, iss. 1, art. 99. https://doi.org/10.3390/ecsa-11-20528.

54. **Deng B. Design of smart agriculture Internet of Things system based on ZigBee and CC2530 module.** *Proceedings of the 2024 IEEE 3rd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA),* Changchun, China, 2024, pp. 1165–1168. https://doi.org/10.1109/EEBDA60612.2024.10485730.

55. **Zhong X., Qiao R., Wang X. Application of ZigBee technology in smart soil temperature and humidity control systems.** *Frontiers in Science and Engineering*, 2024, vol. 4, iss. 6, pp. 135–140. https://doi.org/10.54691/z66ef284.

56. **Craven S., Bee A., Sanders B., et al. Smart Bluetooth stakes: deployment of soil moisture sensors with rotating high-gain antenna receiver on center pivot irrigation boom in a commercial wheat field.** *Sensors*, 2025, vol. 25, iss. 17, art. 5537. https://doi.org/10.3390/s25175537.

57. **Al Jebory Z., Miry A.H., Aramice G.A. Agriculture based on wireless sensor network: literature survey.** *Wasit Journal of Engineering Sciences*, 2024, vol. 12, iss. 4, pp. 171–190. https://doi.org/10.31185/ejuow.Vol12.Iss4.610.

58. **Hargreave K., Liu V., Kane L. Optimising Wi-Fi HaLow connectivity: a framework for variable environmental and application demands.** *Electronics*, 2025, vol. 14, iss. 13, art. 2733. https://doi.org/10.3390/electronics14132733.

59. **Puig F., Rodríguez Díaz J.A., Soriano M.A. Development of a low-cost open-source platform for smart irrigation systems. Agronomy**, 2022, vol. 12, iss. 12, art. 2909. https://doi.org/10.3390/agronomy12122909.

60. **Singh A.K., Shreya, Khatoon S., et al. A comprehensive review of recent advances in intelligent controller development for smart irrigation systems.** *Discover Computing*, 2025, vol. 28, art. 239. https://doi.org/10.1007/s10791-025-09762-4.

61. **Ahmad U., Sohel F. Evaluating decision support systems for precision irrigation and water use efficiency.** *Digital Engineering*, 2025, vol. 4, art. 100038. https://doi.org/10.1016/j.dte.2025.100038.

62. **Bryant C.J., Spencer G.D., Gholson D.M., et al. Development of a soil moisture sensor-based irrigation scheduling program for the midsouthern United States.** *Crop, Forage & Turfgrass Management,* 2023, vol. 9, art. e20217. https://doi.org/10.1002/cft2.20217.

63. **Pereira L.S., Paredes P., Jovanovic N. Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach.** *Agricultural Water Management*, 2020, vol. 241, art. 106357. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357.

64. **Vélez S., Martínez-Peña R., Valente J., Ariza-Sentís M., Sirnik I., Pardo M.Á. A Decision Support System (DSS) for Irrigation Oversizing Diagnosis Using Geospatial Canopy Data and Irrigation Ecolabels.** *AgriEngineering*, 2025, vol. 7, iss. 12, art. 429. https://doi.org/10.3390/agriengineering7120429.

65. **Bhatti S., Heeren D.M., O'Shaughnessy S.A. et al. Toward automated irrigation management with integrated crop water stress index and spatial soil water balance.** *Precision Agriculture,* 2023, vol. 24, iss. 6, pp. 2223–2247. https://doi.org/10.1007/s11119-023-10038-4.

66. **Umutoni L., Samadi V. Application of machine learning approaches in supporting irrigation decision making: a review.** *Agricultural Water Management*, 2024, vol. 294, art. 108710. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108710.

67. **Saggi M.K., Jain S. A survey towards decision support system on smart irrigation scheduling using machine learning approaches.** *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2022, vol. 29, iss. 6, pp. 4455–4478. https://doi.org/10.1007/s11831-022-09746-3.

68. **Jia W., Zhang Y., Wei Z., Zheng Z., Xie P. Daily reference evapotranspiration prediction for irrigation scheduling decisions based on the hybrid PSO-LSTM model.** *PLOS ONE,* 2023, vol. 18, issue 4, art. e0281478. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281478.

69. **Yu J., Qu Q., Peng S., Wei X., Li Y., Sun C. Deep learning for intelligent irrigation decision-making: a review.** *Agricultural Water Management*, 2025, vol. 320, art. 109836. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109836.

Дата поступления: 31 мая 2026 г. **Принято:** 03 июня 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Молдахметов Саят Сайранович – PhD, Researcher (исследователь) кафедры энергетики и радиоэлектроники, «Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева», Республика Казахстан, 150000, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, тел.: 87713616822, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu. kz.*

Абдуалиев Есенгельді Оспанұлы – докторант 2 курса ОП 8D07103 – Электроэнергетика, «Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева», Республика Казахстан, 150000, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, тел.: 87089515354, e-mail: eoabdualiev@ku.edu.kz.

Молдахметов Саят Сайранович – PhD, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасының зерттеушісі, «М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті», Қазақстан Республикасы, 150000 Петропавл қ., Пушкин көш., 86; тел.: 87713616822, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz.*

Абдуалиев Есенгельді Оспанұлы – «8D07103 – Электр энергетикасы» білім беру бағдарламасының 2-курс докторанты, «М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті», 150000, Қазақстан Республикасы, Петропавл қ., Пушкин көш., 86; тел.: 87089515354, e-mail: eoabdualiev@ku.edu.kz.

Moldakhmetov Sayat Sairanovich – PhD, Researcher, Department of power engineering and radio electronics, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, 150000, Petropavlovsk, 86 Pushkin Str., tel.: 87713616822, e-mail: ssmoldahmetov@ku.edu.kz.*

Abdualiyev Yessengeldi Ospanyly – 2nd-year PhD student, "8D07103 – Electric Power Engineering" educational program, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, 150000, Petropavlovsk, 86 Pushkin Str., tel.: 87089515354, e-mail: eoabdualiev@ku.edu.kz.

ХҒТАР 68.41.39
ӘОЖ 631.95:581.5:546.3
https://doi.org/10.52269/SEPT2631161

МЫС-АЛТЫН КЕНДЕРІ ҮЙІНДІЛЕРІНДЕГІ ӨСІМДІКТЕР ҚАУЫМДАСТЫҚТАРЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫ ЖӘНЕ ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ БИОЖИНАҚТАЛУЫ: ЗАМАНАУИ ЗЕРТТЕУ ТӘСІЛДЕРІ

Нугманов А.Б. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы ғылымдары факультетінің деканы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Божекенова Ж.Т. – «8D05101-Биология» ББП докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

Ысқақ А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қолданбалы биотехнологиялық ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Суюндикова Ж.Т. – биология ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Мыс-алтын кен орындарының қалдық үйінділері мен қоймаларында өсімдік жамылғысының қалыптасу заңдылықтары мен элементтердің биожинақталу үдерістері жайлы соңғы жылдардағы ғылыми деректерді осы шолу мақаласында жүйелендірдік. Талдауға 2000-2025 жылдар аралығында Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar дерекқорларынан алынған жарияланымдар енгізілді; негізгі талап – мақаланың рецензиядан өтуі, сандық биоаккумуляция көрсеткіштерінің болуы және фиторемедиация тиімділігін бағалаудың ұсынылуы.

Жинақталған деректер техногенді субстраттарда өсімдіктің дамуын шектейтін негізгі себептердің қатарында ауыр металдардың жоғары шоғырлануы, органикалық заттар мен қоректік элементтердің тапшылығы, pH-тың экстремалды мәндері тұрғанын көрсетті. Табиғи ортада басым үдерісі – фитостабилизация болып табылады. Әдетте металдар өсімдіктің тамыр жүйесінде қалып, жерүсті мүшелеріне өте аз мөлшерде ауысады. Өсімдіктердің бірнеше түрлері – Gliricidia sepium, Dodonaea viscosa, Sorghum bicolor – жоғары биоаккумуляциялық қабілетімен ерекшеленеді. Ал биокөмір, органикалық қоспалар және PGPR бактерияларын (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) қолданатын көмекші фиторемедиация тәсілі металдың қозғалғыштығын төмендетіп, субстраттың қасиетін жақсартады, соның нәтижесінде рекультивация тиімділігі елеулі түрде артады. Қазақстандық зерттеулер бойынша Sorghum bicolor құрғақ континенттік климатта Pb, Cd, Co жинақтауға қабілетті перспективалы дақыл ретінде танылды. Осыған орай, келешекте биожинақталудың молекулалық механизмдерін терең зерттеп, аймақтық ерекшеліктерге сай мелиорациялық технологиялар жасау қажет болады. Қорытындылай келе, табиғи сукцессия үдерісі мен басқарылатын биотехнологиялық шараларды үйлестіру бұзылған жерлерді қалпына келтірудің ең ұтымды жолы екені айқындалды.

Түйінді сөздер: *фиторемедиация, техногендік субстраттар, табиғи өсімдіктерді қалпына келтіру.*

ФОРМИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ И БИОАККУМУЛЯЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ОТВАЛАХ МЕДНО-ЗОЛОТОЙ РУДЫ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нугманов А.Б. – к.с.-х.н., декан факультета сельскохозяйственных наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Божекенова Ж.Т. – докторант ОП 8D05101 – Биология, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.*

Ыскақ А. – к.с.-х.н., директор научно-исследвательского института инновационных технологий, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Суюндикова Ж.Т. – к.б.н., старший преподаватель, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва» г. Астана, Республика Казахстан.

В данном обзоре мы систематизировали научные данные последних лет о закономерностях формирования растительного покрова и процессах биоаккумуляции элементов в отвалах и хвостохранилищах медно-золотых месторождений. Анализ охватил публикации из баз данных Scopus, Web of Science, ScienceDirect и Google Scholar за 2000-2025 годы; ключевыми требованиями к отбору источников стали рецензируемость статьи, наличие количественных показателей биоаккумуляции и оценка эффективности фиторемедиации.

Собранные данные показали, что среди основных факторов, ограничивающих развитие растений на техногенных субстратах, – высокая концентрация тяжёлых металлов, дефицит органического вещества и питательных элементов, а также экстремальные значения pH. Преобладающим процессом в природных условиях выступает фитостабилизация: как правило, металлы удерживаются в корневой системе растения и лишь в незначительном количестве переходят в надземные органы. Ряд видов – Gliricidia sepium, Dodonaea viscosa, Sorghum bicolor – отличается высоким биоаккумуляционным потенциалом. При этом применение вспомогательной фиторемедиации с использованием биоугля, органических добавок и PGPR-бактерий (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria) снижает подвижность металлов и улучшает свойства субстрата, благодаря чему эффективность рекультивации заметно возрастает. Согласно казахстанским исследованиям, Sorghum bicolor признан перспективной культурой, способной накапливать Pb, Cd и Co в условиях засушливого континентального климата. В связи с этим в дальнейшем необходимо глубже изучить молекулярные механизмы биоаккумуляции и разработать мелиоративные технологии, адаптированные к региональным особенностям. Подводя итог, можно заключить, что сочетание естественной сукцессии и управляемых биотехнологических мероприятий представляет собой наиболее рациональный путь восстановления нарушенных территорий.

Ключевые слова: *фиторемедиация, техногенные субстраты, восстановление естественной растительности.*

FORMATION OF PLANT COMMUNITIES AND BIOACCUMULATION OF ELEMENTS IN COPPER-GOLD ORE DUMPS: MODERN RESEARCH METHODS

Nugmanov A.B. – Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of Agricultural Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Bozhekenova Zh.T. – PhD student, "8D05101-Biology" educational program, 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.

Suyundikova Zh.T. – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University NJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

In this review, we have systematized recent scientific data on the patterns of plant cover formation and the processes of elemental bioaccumulation in the waste dumps and tailings of copper-gold deposits. The analysis covered publications from the Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar databases for the period 2000–2025; the main selection criteria were peer-review status, the availability of quantitative bioaccumulation data, and an assessment of phytoremediation effectiveness.

The data gathered showed that the key factors limiting plant development on technogenic substrates include high concentrations of heavy metals, a shortage of organic matter and nutrients, and extreme pH values. The dominant process under natural conditions is phytostabilization: metals are typically retained in the root system, with only a small fraction translocated to the aboveground organs. Several species – Gliricidia sepium, Dodonaea viscosa, and Sorghum bicolor – stand out for their high bioaccumulation potential. Assisted

phytoremediation, relying on biochar, organic amendments, and PGPR bacteria (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria), reduces metal mobility and improves substrate properties, substantially increasing the effectiveness of land reclamation. Studies conducted in Kazakhstan have identified Sorghum bicolor as a promising crop capable of accumulating Pb, Cd, and Co under arid continental conditions. Going forward, research should focus on uncovering the molecular mechanisms of bioaccumulation and developing amelioration technologies tailored to regional conditions. In conclusion, combining natural succession with managed biotechnological measures appears to be the most effective strategy for restoring disturbed lands.

Keywords: *phytoremediation, technogenic substrates, natural revegetation.*

Кіріспе. Тау-кен өнеркәсібі Қазақстан экономикасының негізгі салаларының бірі болып табылады және елдің өнеркәсіптік өндірісі мен экспорттық әлеуетіне айтарлықтай үлес қосады. Мысалы, Варварин кен орны карьерлерін (Қостанай облысы) 2004 жылдың маусымынан 2019 жылдың 31 желтоқсанына дейін пайдалану кезеңінде 112,5 миллион м^3 немесе 281,2 миллион тонна тау-кен массасы өндірілді, оның ішінде 100,2 миллион м^3 немесе 246,2 миллион тонна аршылған жыныстар және 34,7 миллион тонна тауарлық кен, орташа құрамы 0,93 г/т Au және 0,15% Cu. Баланстан тыс кеннің көлемі 5,3 миллион тоннаны құрайды [1, 19 б.].

Дегенмен кен өндіру мен өңдеу процесі үйінділер мен қалдық қоймалары түрінде үлкен көлемдегі техногенді қалдық қалдырады, нәтижесінде топырағы бұзылған, геохимиялық құрамы өзгерген аумақтар пайда болады. ҚР Экология және табиғи ресурстар министрлігінің Ұлттық баяндамасы бойынша, 2024 жылы елімізде бұзылған жерлердің жалпы ауданы 253,6 мың гектарға жеткен [2, 74 б.]. Ал Ұлттық статистика бюросының мәліметінше, 2023 жылы қауіпті қалдықтардың жалпы көлемі 43 867,9 мың тоннаны құраған, соның 65%-ы (28 077,9 мың тонна) дәл тау-кен және карьер өндірістерінің үлесінде [3, 130 б.]. Демек, техногенді үйінділерді жарамды топыраққа қайта айналдыру – тек экологиялық емес, сонымен қатар әлеуметтік-экономикалық маңызы зор мәселе.

Техногенді ландшафттардың физика-химиялық сипаттамалары – органикалық заттың тапшылығы, pH-тың шеткі мәндері, потенциалды токсикалық элементтердің (ауыр металдардың) жоғары шоғырлануы – өсімдік жамылғысының қайта қалыптасуына кедергі келтіреді [4, 825 б., 5, 2 б., 6, 877 б.].

Нәтижесінде фитоценоздардың дамуы тежеліп, табиғи қалпына келу қарқыны бәсеңдейді [5, 8 б., 7, 49 б.]. Дәл осындай жағдай бұзылған аумақтарды экологиялық реабилитациялауды табиғатты басқарудың басым бағыттарының біріне айналдырады.

Қазақстанның экологиялық заңнамасы бүлінген жерлерді рекультивациялау мен кейінгі мониторингті «Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы» Кодексте белгіленген тәртіппен жүргізуді талап етеді, ал жер қойнауын игеру барысында ластануды болдырмайтын және қоршаған ортаға тигізетін зиянды азайтатын экологиялық қауіпсіз шаралар қолданылуы тиіс [8, 238-бап, 9, 6-бап, 54-бап].

Топырақтағы химиялық (потенциалды токсикалық) заттардың рұқсат етілетін шекті шоғырлануы, сондай-ақ тау-кен кәсіпорындары аумағының жай-күйін бақылау талаптары гигиеналық нормативтер мен санитарлық ережелермен реттеледі [10, 141-бап, 159-бап, 11, 1-кесте, 12, 1-тармақ].

Осындай бұзылған ландшафттарды қалпына келтірудің тиімді жолдарының бірі ретінде фиторемедиация қарастырылады – ластаушы заттарды (мысалы, ауыр металдарды) өсімдіктер көмегімен тұрақтандыру, жинақтау немесе басқа түрге ауыстыру принципіне негізделген әдіс [6, 871 б., 13, 3 б.]. Оның ішінде бірнеше нақты механизм бөлек қаралады: фитостабилизация кезінде өсімдік ластаушыны тамыр жүйесінде байланыстырады [7, 50 б., 14, 1007 б.], ал фитоэкстракция барысында зиянды заттар керісінше жерүсті мүшелерінде жинақталады [6, 872 б.]. Бұдан бөлек, көмекші фиторемедиация (assisted phytoremediation) деп аталатын тәсіл ерекше назар аудартады – мұнда топырақ сапасын жақсарту үшін биокөмір, органикалық қоспалар мен микроорганизм инокулянттары қосымша пайдаланылады [15, 179 б., 16, 153 б., 17, 1450 б.].

Фиторемедиациямен қатар табиғатта топырақтың өздігінен қалпына келу үдерісі, яғни сукцессия, да маңызды рөл атқарады: уақыт өте келе техногенді субстратқа бейімделген өсімдік түрлері алғашқы фитоқауымдастықтарды қалыптастыра бастайды [7, 51 б.]. Осындай пионерлі қауымдастықтардың пайда болу заңдылығын зерттеп, оның ішінен рекультивацияда пайдалануға жарамды перспективті түрлерді анықтауға болады [4, 833 б., 6, 878 б.]. Ал құрғақ климатты аймақтарда деградацияға ұшыраған жерлерді басқару мәселесі ерекше өзекті болып отыр, бұл ROOTS for Remediation секілді халықаралық жобалар мен «Құрғақ жерлердің тұрақты ландшафттарына әсер ету» бағдарламасында да көрініс тапқан [18 жоба, 19 бағдарлама].

Осы саладағы жұмыстардың саны жеткілікті болғанымен, олардың біразы жекелеген өсімдік түрлері немесе белгілі бір элементтер тобын қарастырады [4, 825 б., 6, 877б.], ал топырақтың геохимиясын, өсімдіктің биоаккумуляциялық қабілетін және «субстрат-өсімдік» жүйесіндегі сукцессиялық процестерді біріктіретін кешенді талдаулар жеткіліксіз. Бұған қоса, Орталық Азия мен Қазақстан секілді құрғақ, континентальды климаты өткір аймақтар бойынша толыққанды зерттеулер саны әлі де аз болып қалуда.

Осыған байланысты, аталған шолудың **мақсаты** – техногенді бүлінген жерлердің табиғи қалпына келу үдерісі мен өсімдіктердің биоаккумуляциялық қасиеттеріне қатысты соңғы жылдардағы ғылыми деректерді жүйелеп, климаттық-табиғи жағдайларды ескере отырып, фиторемедиацияның тиімділігін анықтайтын факторларды салыстырмалы талдау болып табылады.

Зерттеу міндеттері. Қойылған мақсатқа жету үшін төмендегі міндеттер шешілді:

- техногенді субстраттардың геохимиялық қасиеттерін (ауыр металдардың шоғырлануы, органикалық заттың мөлшері, pH деңгейі) талдап, олардың өсімдік дамуына тигізетін шектеуші әсерін анықтау;
- бұзылған жерлерде өсімдіктердің табиғи сукцессия жолымен қалыптасу заңдылықтарын, пионерлі түрлердің бейімделу механизмдерін жүйелеу;
- әртүрлі өсімдік түрлерінің ауыр металдарды биожинақтау және тасымалдау сипаттамаларын (BCF, TF көрсеткіштері негізінде) салыстырмалы түрде сипаттау;
- фитостабилизация, фитоэкстракция және көмекші фиторемедиация әдістерінің тиімділігін салыстырып, олардың қолдану аясы мен шектеулерін көрсету;
- Қазақстанның құрғақ континенттік климат жағдайында жергілікті және бейімделген өсімдік түрлерін (соның ішінде Sorghum bicolor) фиторемедиацияда қолдану перспективасын бағалау.

Мақаланың ғылыми жаңалығы – геоботаникалық, геохимиялық және биотехнологиялық тәсілдерді бір шеңберде қарастырып, техногенді бұзылған аймақтарды қалпына келтіру үдерісін кешенді талдауда, сондай-ақ өсімдік қауымдастықтарының қалыптасуы мен биоаккумуляция тиімділігіне әсер ететін негізгі факторларды нақтылауда жатыр.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу техногенді бұзылған аумақтардағы өсімдіктердің табиғи өсуі мен элементтердің биожиналу процестері туралы заманауи ғылыми деректерді жинақтауға, сондай-ақ фиторемедиация технологияларының тиімділігін бағалауға бағытталды. Жұмыс жүйелі шолу элементтерін қамтитын құрылымдалған әдебиеттік шолу форматында орындалды.

Әдебиет көзін іздеу стратегиясы. Ғылыми әдебиетті іздеу төрт халықаралық дерекқор – Scopus, Web of Science, ScienceDirect және Google Scholar – негізінде жүзеге асырылды, ал уақыт ауқымы ретінде 2000-2025 жылдар алынды: бұл кезең фиторемедиация мен техногенді ландшафттарды қалпына келтіру бағытындағы негізгі және соңғы жаңалықтарды толық қамтуға мүмкіндік берді.

Іздеу үшін ағылшын тіліндегі түйінді сөздер мен олардың AND/OR операторлары арқылы құрылған логикалық тіркестер қолданылды, соның ішінде: «фиторемедиация», «шахта қалдықтары», «техногендік субстраттар», «табиғи өсімдіктерді қалпына келтіру», «мыс-алтын кен қалдықтарының үйінділері», «ауыр металдардың биоаккумуляциясы», «фитостабилизация», «фитоэкстракция», «бұзылған жерлерде өсімдіктердің сукцессиясы», «топырақтың ластануы». Бұған қоса, негізгі мақалалардың сілтеме тізімдерін талдау (snowball approach) арқылы табылған қосымша дереккөздер де іріктемеге енгізілді – бұл релевантты әдебиеттің қамту шеңберін кеңейтуге септігін тигізді.

Енгізу және алып тастау критерийлері. Шолуға келесі критерийлерге сәйкес келетін жарияланымдар енгізілді:

- рецензияланатын ғылыми журналдарда жарияланған түпнұсқа және шолу мақалалары;
- жасанды қалдықтар алаңдарын (үйінділер, қалдық қоймалары, карьерлер) зерттеу;
- өсімдік түрлерінің құрамы, табиғи қалпына келтіру процестері немесе ауыр металдардың биожинақталу жылдамдығы туралы деректердің қолжетімділігі;
- фиторемедиация әдістерінің тиімділігін бағалау (фитостабилизация, фитоэкстракция, көмекші фиторемедиация);
- ағылшын және орыс тілдеріндегі басылымдар.

Талдаудан алынып тасталды:

- толық мәтіні жоқ конференция тезистері;
- сандық деректері жоқ немесе әдістемелік сипаттамасы жеткіліксіз жұмыстар;
- техногендік аймақтардағы топырақ және өсімдік жүйелеріне қатысы жоқ басылымдар;
- қайталанатын дереккөздер.

Дереккөзді таңдау процедурасы. Әдебиеттерді іріктеу процесі бірнеше кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде кілт сөздер арқылы негізгі іздеу жүргізілді, нәтижесінде басылымдар базасы құрылды. Екінші кезеңде тақырыптар мен аңдатпаларды іріктеу арқылы релеванты емес жұмыстарды алып тастау көзделді. Үшінші кезеңде енгізу критерийлеріне сәйкес келетін мақалалардың толық мәтінді талдауы жүргізілді.

Қайталанатын жазбалар алдын ала өңдеу кезеңінде алынып тасталды. Қорытынды іріктемеге критерийлерге сәйкес келетін және табиғи-климаттық жағдайлар, техногендік субстрат түрлері мен фиторемедиация тәсілдері бойынша репрезентативтілікті қамтамасыз ететін зерттеулер енгізілді.

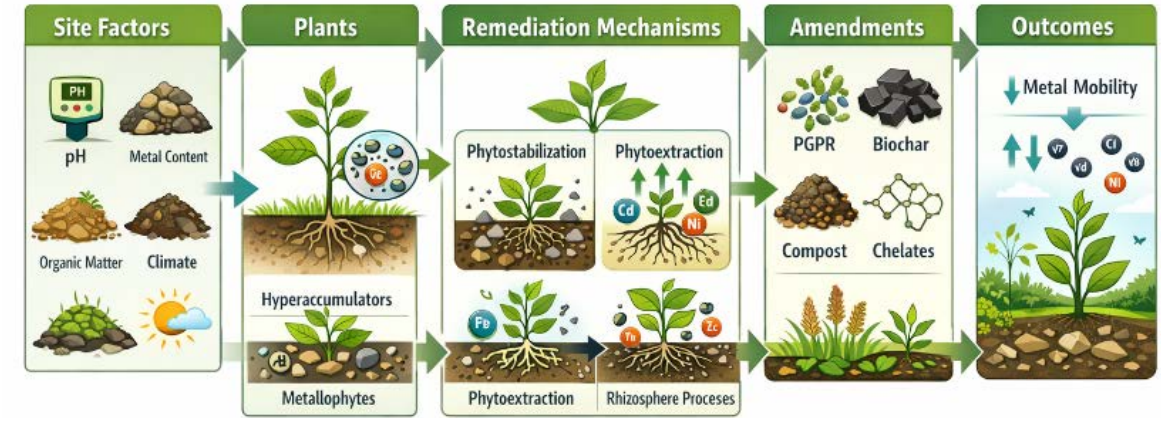
Деректерді талдау тәсілі. Іріктеуден өткен дереккөздерді талдау салыстырмалы және жүйелік тәсілдерді қолдану арқылы жүргізілді. Әртүрлі зерттеулердің нәтижелерін салыстыру үшін келесі параметрлер ескерілді:

- техногенді нысан түрі (үйінділер, қалдық қоймалар, карьерлер);
- географиялық орналасуы және климаттық жағдайлары;
- субстраттың физика-химиялық сипаттамалары (pH деңгейі, органикалық заттың мөлшері, ауыр металдардың шоғырлануы);
- зерттелетін өсімдік түрлерінің құрамы мен экологиялық ерекшеліктері;
- биожинақталу көрсеткіштері (аккумуляция мен транслокация коэффициенттері).

Талдау барысында ерекше көңіл «топырақ-өсімдік» жүйесіндегі элементтердің таралу үлгілерін анықтауға және әртүрлі қалпына келтіру тәсілдерінің тиімділігін салыстырмалы бағалауға бөлінді.

Зерттеудің шектеулері. Шолуға кірген зерттеулер қолданылған аналитикалық әдістер, зерттеу нысандары, климаттық жағдайлар мен биожинақтау көрсеткіштерінің әртүрлілігімен ерекшеленеді. Мұндай гетерогенділік нәтижелерді тікелей сандық түрде салыстыруды қиындатады, сондықтан қорытынды жасау барысында белгілі бір сақтық қажет.

Нәтижелерді талқылау. Талданған әдеби деректер техногенді үйінділер мен қалдық қоймаларындағы өсімдік қауымдастықтарының қалыптасуы – геохимиялық, климаттық және биологиялық факторлардың өзара тоғысуымен анықталатын күрделі, көпқырлы құбылыс екенін растайды. Қоршаған орта факторлары, өсімдіктердің биологиялық ерекшеліктері және техногенді субстраттардың фиторемедиация механизмдері арасындағы өзара әрекеттесудің жалпыланған сызбасы 1-суретте көрсетілген.



1 сурет – Техногенді субстраттарды фиторемедиациялаудың тұжырымдамалық сызбасы: қоршаған орта факторларының, өсімдік түрлерінің, қалпына келтіру механизмдерінің және көмекші технологиялардың ауыр металдардың қозғалғыштығын азайтуға және экожүйелерді қалпына келтіруге әсері

Соңғы екі онжылдықта тау-кен қалдықтары үйінділеріндегі өсімдіктердің ауыр металдардың биожиналуына арналған зерттеулер саны айтарлықтай өсті. Бұл зерттеулердің нәтижелерін жүйелеу және салыстыру үшін биожиналудың негізгі параметрлері, фиторемедиация процестерінің түрлері және оларды жүзеге асыру шарттары 1-кестеде қорытындыланған.

1 кесте – Техногенді субстраттардағы биоаккумуляция мен фиторемедиацияның салыстырмалы талдауы

Автор, жылы	Нысан	Металдар	Өсімдіктер	Процесстің түрі	Механизм (BCF/TF)	Жағдайы/ әсері	Негізгі қорытынды
Xiao et al., 2008	Мыс үйінділері (Қытай)	Cu, Pb, Zn, Cd	Жабайы флора (49 түрі)	Табиғи сукцессия	BCF >1 (ішінара)	Табиғи жағдайлар	Металлофиттердің жоғары алуантүрлілігі
Santibáñez et al., 2008	Мыс қалдық қоймалары (Чили)	Cu, Zn	*Lolium perenne*	Фитостабилизация	TF <1	Биосолидтер	Cu, Zn қозғалғыштығы артты, тек Mo төмендеді
Wilson-Corral et al., 2011	Au-Cu қалдық қоймалары (Мексика)	Au, Cu	*Helianthus annuus*	Фитоэкстракция	BCF >1	Хелаттар	Au экстракциясы мүмкін, бірақ өсімдіктердің стрессі
Närhi et al., 2012	Fe-Cu қалдық қоймалары (Финляндия)	Cu	Батпақты өсімдіктері	Сукцессия	–	Суық климат	Биоалуантүрлілігінің >50% төмендеуі
Lago-Vila et al., 2014	Мыс қалдық қоймалары (Испания)	Cu, Mn, Ni	–	Геохимия	–	Жоғары қозғалғыштық	Биоаккумуляцияны анықтау

1-кестенің жалғасы

Chen et al., 2015	Қышқылды мыс қалдық қоймалары (Қытай)	Cu, As	*Medicago sativa*	Фитостабилизация	TF <1	Қышқылдыр Н орта	Тамырдағы металдар
Lam et al., 2017	Мыс қалдық қоймалары (Чили)	Cu, Mn, Zn	*Schinus molle*, *Atriplex*	Фитоаккумуляция	BCF >1	Микориза	Жинақтаудың артуы
Tapia et al., 2017	Мыс қалдық қоймалары (Чили)	Cu	*Carpobrotus*	Фитостабилизация	TF <1	Гуматтар	Cu стабилизациясы
Touceda-González et al., 2017	Мыс кенінің қалдық қоймалары (Испания)	Cu	Шөптесін өсімдіктер	Көмекші фиторемедиация	Қолжетімділік ↓	Компост	Топырақ пен микробиотаның сапасын жақсарту
Kasowska et al., 2018	Польшаның флотациядан кейінгі мыс қалдықтары	Cu, Mn	Жабайы флора	Сукцессия	BCF >1	–	Металдардың аккумуляторлары (жинақтаушылары)
Mendoza-Hernández et al., 2019	Қалдық қоймалары (Мексика)	Pb, Cd	*Brassica juncea*	Фитоэкстракция	BCF ↑	PGPR бактерия	Экстракцияны белсендету
Festin et al., 2019	Мыс қалдық қоймалары (Замбия)	Cu	Ағаштар	Сукцессия	BCF <1	–	Металдардың эксклюдерлері
Afonso et al., 2020	Мыс қалдық қоймалары (Бразилия)	Cu, Cr, Pb	Жергілікті флора	Биологиялық барлау	BCF >1	–	11 перспективті түр
Ruiz-Huerta et al., 2022	Қалдық қоймалары (Мексика)	Cu, Zn, As	*Zea mays*	Тәуекелділік	TF<1	–	Өсімдіктерге уытты әсері
Mussali-Galante et al., 2023	Қалдық қоймалары (Мексика)	Fe, Pb, Zn, Cu	*Gliricidia sepium*	Фитоэкстракция	BCF >1	–	Аккумуляцияның жоғары деңгейі
Rosas-Ramírez et al., 2024	Қалдық қоймалары (Мексика)	Pb, Cd	*Crotalaria*	Көмекші фиторемедиация	Қолжетімділік ↓	Biochar	Уыттылықтың төмендеуі
Wang et al., 2024	Мыс қалдық қоймалары (Қытай)	Cu, Cd	*Lolium perenne*	Фитоэкстракция	TF ↑	Хелаттар	Экстракцияның жоғарылауы
Acosta-Núñez et al., 2025	Қалдық қоймалары (Мексика)	Pb, Cd	*Dodonaea viscosa*	Фитоэкстракция	BCF >1	–	Жоғары потенциал
Sagimbayeva et al., 2025	Қазақстан	Pb, Cd, Co	*Sorghum bicolor*	Фитостабилизация	BCF >1	In vitro	Перспективті түр
Yelikbayev et al., 2026	Қазақстан	Co, Pb, Cu	А/ш дақылдары	Фитостабилизация	TF <1	–	Жергілікті адаптация

1-кесте көрсетіп тұрғандай, зерттеу нәтижелері бойынша өсімдіктердің ауыр металдармен әрекет ету механизмдері түрдің биологиялық қасиеттеріне және қоршаған орта жағдайларына байланысты нақты сараланғанын байқауға болады.

Зерттеулерді салыстырмалы талдауы нәтижесінде фиторемедиацияның тиімділігі мен табиғи өсімді анықтайтын жалпы заңдылықтар айқындалды.

1. Өсімдіктер үшін техногенді бүлінген субстраттардың геохимиялық шектеулері. Тау-кен өндірістерінің үйінділері мен қоймаларында органикалық қоректік заттың жетіспеуі немесе мүлде болмауы, ауыр металдардың жоғары шоғырлануы және pH-тың шеткі мәндері – өсімдік жамылғысының қалыптасуын тежейтін негізгі геохимиялық факторлар. Бұлар пионерлі түрлердің алғашқы отарлануына кедергі келтіріп, стресстік орта қалыптастырады және сукцессия қарқынын баяулатады [20, 159 б.].

Сонымен қатар, субстраттағы металдардың (Cu, Mn, Ni) қозғалғыштық деңгейі де өсімдіктің даму сапасына тікелей әсер етіп, биоаккумуляция процесін күшейтеді [20, 164 б.]. Мыс қалдық үйінділердің қышқылды субстраттарында фитоуыттылық әсері жоғарылайды [21, 32 б.] және өсімдіктердің өсуіне кедергі болып, өсімдік қауымдастықтардың алуан түрлілігін төмендетеді. Финляндияның солтүстігінде темір-мыс кен қалдықтарында сарқынды сулардың әсерінен өсімдіктердің алуантүрлілігі 50%-ға дейін төмендегенін көрсетті [22, 60 б.].

2. Табиғи сукцессия және өсімдіктердің бейімделу қабілеті. Уақыт өткен сайын техногенді бүлінген территорияларда да өсімдіктердің жеке түрлері бекінеді, кейін салыстырмалы тұрақты фитоценоздарды қалыптастырады. 1-ші суретте беріген деректемелер бойынша фитостабилизация мен фитоэкстракция үдерістері кезінде өсімдіктің жерүсті мүшелері мен тамыр жүйесінің және бүлінген топырақ арасындағы әрекеттесу жолдары әртүрлі іске асады. Осы үдерістерге қатысатын өсімдіктердің морфологиялық-физиологиялық бейімделу ерекшкліктері болады және олар металдардың уытты әсеріне төзімді болып келеді.

Бразилияда мыс балқыту зауытының қалдық үйінділерінде өскен аборигендік флорасын биобарлау кезінде фиторемедиация үшін потенциалы жоғары өсімдіктердің 11 түрі анықталды. Олардың барлығы өздерінің биомассасында ауыр металдарды жинауға бейімделген, Cu, Pb, Cr-ға төзімді екені белгілі болды [23, № 109953]. Қытайда мыс балқыту зауыттарының үйінділері бар бес учаскеде зерттеу жүргізілді: Аньхой провинциясының Тунлин қаласындағы Угунли, Тунгуаншан және Фэнхуаншан; Цзянсу провинциясының Нанкин қаласындағы Туншань; және Чжэцзян провинциясының Чжуцзи қаласындағы Сяоцзянцу. Оның нәтижесінде Cu, Pb, Zn, Cd металдарын жинау қабілеті жоғары өсімдіктердің 49 түрі анықталды [24, 315-317 б.]. Бұл жабайы флораның өзгермелі экологиялық жағдайына бейімделу потенциалының кең диапазонын көрсетеді. Дегенмен, әр түрлі географиялық аймақтарда жүргізілген зерттеулерге назар аударатын болсақ, техногендік субстраттарда қайта қалыптасқан фитоценоз бен фондық экожүйе арасындағы флористикалық құрамы мен құрылымындағы айтарлықтай айырмашылықтарды байқауға болады. Бұған Замбиядағы зерттеу деректері дәлел бола алады. Замбиядағы мыс кен өндірісінің қалдық қоймаларын басқан өсімдік жамылғысының алуантүрлілігі мен жергілікті табиғи экожүйенің алуантүрлілігін салыстырған кезде ұқсастық коэффициенті 16-26 %-ды құрады [25, 118 б.]. Бұл көрсеткіш бұзылған топырақтарда ерекше спецификалық өсімдік қауымдастықтардың қалыптасатының бейнелейді. Өсімдік ағзасының маңызды адаптация белгілері келесі:

- металдардың жинақталуына төзімділік;
- тез өсу қабілеті;
- микоризалық ассоциациялардың қалыптасуы;
- азотты бекіту қабілеті.

Зерттелген өсімдіктердің көп түрлері металлофит-эксклюдер бағытында қызмет атқарады. Олар металды жерүсті биомассасына (сабақ, жапырақ, гүл, тұқым) өткізбей тамыр жүйесіне жинайды (BCF<1) [25, 124 б.]. Гипераккумулятор түрлері санаулы ғана. Демек, табиғи жағдайларда өсімдіктердің бейімделу бағытында фитостабилизация үдерістері басым болады.

3. Металдардың биожинақталуы және таралуы. Металдың өсімдік ағзасына енуі мен таралуы өсімдік түрінің биологиялық ерекшеліктеріне де, техногенді субстраттың құрамы мен қасиеттеріне де тәуелді. Әдетте өсімдіктің тамыр жүйесінде шоғырланған металл жерүсті мүшелеріне тарамайды, сөйтіп оның уытты әсері төмендейді [21, 33 б.]. Бірақ, өсімдіктердің кейбір өкілдері металды ағза бойына жинауға бейімделген. Оған келесі зерттеулердің мәліметтері дәлел бола алады:

- Gliciridia sepium өсімдігі Fe, Pb, Zn, Cu аккумуляциялауға бейімделеген [26, 38982 б.];
- Dodonaea viscosa өкілі Pb мен Cd экстракциялау потенциалы жоғары [27, № 69];
- Sorgum bicolor өсімдік түрінің Pb, Cd, Co сіңіру қасиеті бар [28, № 3627];
- Lolium perenne хелат агенттері қоспасының көмегімен Cu, Cd бойына жинауды арттырады [29, № 7663].

Ғылыми қызығушылықты тудыратын асыл металдарды биоаккумуляциялау туралы деректемелер. Мұндай қасиет Helianthus annuus пен Kalanchoe serrata өкілдерінде анықталған. Олар Au мен Cu металдарын бойларына сіңіреді [30, 1488 б.]. Дегенмен бұл жолда белгілі бір қиындықтар бар – процесті толық бақылау мүмкіндігі шектеулі, ал фитоэкстракцияны күшейту үшін хелат қосу қажет болады, ол өз кезегінде өсімдіктің өсу қарқынын баяулатып, субстраттың қайта ластану қаупін арттырады.

Ауыл шаруашылық дақылдарының биоаккумуляциялық қасиеті де кейде теріс салдарға әкелуі мүмкін. Мысалы, қалдық қоймалары маңында өсірілген Zea mays дақылында Cu, Zn, As жинақталуына байланысты морфологиялық ауытқулар мен өнімділіктің төмендеуі байқалды [31, 447 б.].

4. Фиторемедиация технологияларының тиімділігі. Жинақталған зерттеу нәтижелерін салыстыру табиғи сукцессияның жеке өзі техногенді жерлерді жедел қалпына келтіру үшін жеткіліксіз екенін көрсетеді, сондықтан басқарылатын фиторемедиация тәсілдерін қолдану қажеттілігі туындайды. Негізгі әдістердің механизмі, тиімділігі мен қолдану аясы 2-кестеде салыстырмалы түрде берілген.

2 кесте – Техногендік субстраттардағы ауыр металдарды фиторемедиациялаудың негізгі әдістерінің салыстырмалы сипаттамалары

Әдіс	Әрекет механизмі	Негізгі көрсеткіштер (BCF, TF)	Артықшылықтары	Шектеулер	Қолдану саласы	Дереккөзі
Фитостабилизация	Ризосферадағы металдардың иммобилизациясы, тамырларға адсорбциялануы, қозғалғыштығының төмендеуі	BCF>1 (тамыр), TF<1	Экологиялық қауіпсіздігі, металдардың миграциясын азайту, эрозияның алдын алу	Металдар жүйеден алынбайды	Қатты ластанған қалдық қоймалары мен үйінділер	Mendez & Maier, 2008; Kidd et al., 2015
Фитоэкстракция	Металды тамырлармен сіңіру және оны жерүсті биомассасында жинау	BCF>1, TF>1	Металды шынайы алып тастау, құнды элементтерді алу мүмкіндігі	Баяу процесс, өсімдіктер үшін улы	Орташа ластанған топырақ	Ali et al., 2013; Ghosh & Singh, 2005
Ризофильтрация	Сулы ортадан металды тамырмен сіңіру және адсорбциялау	BCF >1 (тамыр)	Сулы ерітінділерді тазарту үшін тиімді	Сулы ортамен шектелген	Дренаждық сулар, ағынды сулар	Ali et al., 2013
Фитостимуляция (ризодеградация)	Ластаушы заттардың трансформациясы үшін ризосфера микроорганизмде рін ынталандыру	BCF/TF арқылы анықталмайды	Микробтық белсенділіктің артуы, топырақ сапасының жақсаруы	Ластаушы заттарды жанама түрде жою	Органикалық ластағыш тар (ауыр металдар үшін шектеулі)	Ghosh & Singh, 2005
Көмекші фиторемедиация	тиімділікті арттыру үшін қоспаларды қолдану (biochar, PGPR, хелаттар) для повышения эффективности	BCF және/ немесе TF жоғарлайды	Тиімділіктің айтарлықтай артуы, экстремалды жағдайларға бейімделу	Құны, қайталама ластану қаупі (хелаттар)	Жоғары деңгейде бұзылған техногенді субстраттар	Bolan et al., 2014; Houben et al., 2013
Биокөмірді қолдануға негізделген фитостабилизация	Металдар сорбциясы + топырақ сапасының жақсаруы	Биожетімділік төмендейді	Уыттылықтың төмендеуі, pH жоғарылауы	Металды жоймайды	Қышқылды қалдық қоймалары	Bolan et al., 2011; Houben et al., 2013

Фитостабилизация. Фитостабилизация қалдық қоймалары үшін ең көп таралған стратегия болып табылады (1, 2-кесте). Оны 1-кестеде келтірілген деректер растайды, мұнда көптеген түрлер төмен транслокация коэффициенттерін көрсетеді (TF<1), бұл фитостабилизация механизмдерінің басым екенін көрсетеді. Фитостабилизация тиімділігі бірқатар зерттеулермен расталды:

• Lolium perenne биосолидтермен қолдану Cu мен Zn концентрациясын арттырады, бірақ фитотоксикалық белгілер байқалмайды, ал Mo сіңірілуін төмендетеді [32, 1 б.];

• Carpobrotus aequilaterus мысты тиімді тұрақтандырады [33, 102 б.]. Фиторемедиация тиімділігінің негізгі факторларының бірі – нақты қоршаған орта жағдайларына бейімделген жергілікті өсімдік түрлерін пайдалану болып келеді [34, 210 б.].

Фитоэкстракция. 1-кестенің деректері көрсеткендей, тек шектеулі өсімдік түрлері ғана жоғары биоконцентрация коэффициенттерімен (BCF>1) сипатталады, бұл табиғи жағдайында фитоэкстракцияның шектеулерін растайды. Фитоэкстракция механизмдері өсімдіктің өсу қарқындылығына әсер етпей, жерүсті биомассасында металдарды жинақтау қабілетіне тәуелді. Табысты зерттеулердің мысалындарына қарамастан (PGPR бактерияларын қосып Brassica juncea өсімдігін өсіру) [35, №126308], фито-

экстракцияны қолдану қоршаған ортаның уыттылығымен және өсімдік биомассасының төмен көрсеткіштерімен шектеледі (2 кесте).

Көмекші фиторемедиация. Фиторемедиацияның ұтымды түрі «assisted phytoremediation» – деп аталады, «көмекші» немесе «қосымша» мағынада. Бұл әдіс қалпына келтіру процесін жеделдету үшін қосымша компоненттерді (микроорганизм инокулянттарын, органикалық қоспаларды, биокөмірді) пайдалануымен ерекшеленеді. Мысалы, Serratia K120, Enterobacter K125, Serratia MC107, Serratia MC119 және Enterobacter MC156 бактерияларын қолданған зерттеуде де осындай тәсіл негізге алынған. Brassica juncea тамыр жүйесінің колонизациясы металдардың өсімдікке енуіне оң әсерін тигізеді және өсімдіктің стресс жағдайын реттейді [35, №126308]. Қатты тұрмыстық (органикалық) қалдықтарды компостирлеп мыс кен қалдықтарын фиторемедиациялау үшін пайдалану туралы ауқымды (үш жыл) дала зерттеулердің нәтижелері бойынша субстраттың қышқылды pH ортасы бейтараптанады және ризосфералық микрофлорасына оңтайлы әсер етеді [36, 301 б.]. Biochar компонентін қолдануға арналған зерттеулерге сүйенетін болсақ, кокос талшықтарынан жасалған биокөмірді (25%) қалдық субстраттарға (75%) қосқан кезде ауыр метелдардың қозғалғыштығы төмендеудің есебінен өсімдік ағзасына уытты әсері басылады, яғни, фитостабилизация үрдістері артады [37, №2516].

Демек, рекультивация әдістердің жеке түрін қолданғанша, оларды кешенді біріктіріп қолдану алдекайда тиімдірек екенін тұжырымдамалық сызба айқын көрсетеді (1-сурет). «Субстрат-өсімдік» жүйесіндегі субстрат жағдайларының өзгеруіне және өсімдіктер төзімділігінің жоғарылауына байланысты жақсы нәтижелерге жетуге болады.

5. Қазақстан бойынша мәліметтер. Орталық Азия құрғақ климат жағдайларында фиторемедиация үдерістері бойынша ғылыми мәселелер бар. Оларды шешу жолында жергілікті зерттеулердің нәтижелері маңызды. Жүгері мен күнбағыс дақылдардың биомассасы жақсы дамығанымен, олар металдарды тамырдан жоғары өткізбейтіні (TF<0,8) Теміртау маңындағы зерттеулер барысында анықталды [38, №64]. Бұл дақылдардың бейімделуі фитостабилизация жолымен іске асады. Sorghum bicolor өсімдігі металдардың улы әсеріне төзімділік танытып Pb, Cd, Co жинақтау қабілеттілігі анықталды [28, № 3627]. Қазақстанның аридті климаты жағдайында бұл өсімдіктерді қолдану потенциалы өте жоғары.

Бірінші кестенің мәлімтеттерінен келесі маңызды қорытындыларды жасауға болады:

- техногенді бүлінген топырақтардың геохимиялық қасиеттері өімдіктер үшін негізгі шектеуші фактор болып табылады;
- бүлінген топырақтарда қалыптасқан өсімдік қауымдастықтары тұрақты болғанымен, табиги экожүйелерден ерекшеленеді;
- табиғатта фитостабилизация механизмдері фитоэкстракцияға қарағанда басым болып келеді;
- екінші кестенің мәліметтері қалдық қоймалардағы өсімдік жамылғысы үшін фитостабилизация стратегиясының қолайлығын көрсетеді;
- фиторемедиацияның тиімділігін арттыру үшін кешенді, көмекші әдістерді біріктіріп пайдаланған дұрыс;
- топырақтарды қайта қалпына келтіру үшін жергілікті, қолайсыз жағдайларда тіршілікті жалғастыруға бейімделген өсімдік түрлерінің потенциалы жоғары.

Қорытынды. Ғылыми әдебиеттердің деректемелері бойынша мыс-алтын кен орындардың үйінділерінде өсімдік жамылғысының қалыптасуы геохимиялық, климаттық және биологиялық факторларға тәуелді. Техногенді субстраттардың экстремалды қолайсыз жағдайлары өсімдік тіршілігін тежегенімен, ерекше тұрақты фитоценоздардың қалыптасуын толықтай шектемейді.

Жабайы табиғат жағдайында фитостабилизация механизмдері жий кездеседі: өсімдік металдарды тамырына жинап оның жоғары өтуін шектейді. Бір қатар өсімдіктердің аккумуляция қабілеті жоғары. Олар асыл металдарды да жинақтай алады. Сондықтан мұндай түрлер фитоэкстракция үшін өте маңызды болып табылады.

Қосымша әдістерді қолдану субстраттың қасиеттерін жақсартып фиторемедиацияны арттырады. Ол үшін жергілікті, экологиялық бейімделген түрлерді пайдалану ұтымды. Осы мақсатта Қазақстандағы құрғақ климат үшін Sorghum bicolor өсімдігінің маңыздылығы көрсетілді.

Бұзылған аумақтарды қалпына келтірудің ең тиімді стратегиясы табиғи сукцессия мен басқарылатын биотехнологиялық әдістердің үйлесімі болып табылады. Болашақ зерттеулер биоаккумуляцияның молекулалық механизмдерін анықтауға, қайта қалыптасып жатқан фитоценоздарды бақылауға және аймақтық ерекшеліктеріне бейімделген технологияларын әзірлеуге бағытталуы керек.

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.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. **ТОО «Проектсервис». Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) в составе рабочего проекта «План горных работ месторождения "Варваринское"». Открытые горные работы по состоянию на 01.01.2021 г.** – Караганда: ТОО «Проектсервис», 2021.

2. **Қазақстан Республикасының экология және табиғи ресурстар министрлігі. Қоршаған ортаның жай-күйі және табиғи ресурстарды пайдалану туралы Ұлттық баяндама, 2024** [Электрондық ресурс]. – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/1?lang=en (жүгінген күні: 03.03.2026).

3. **Ұлттық статистика бюросы. Қазақстан Республикасының Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі** [Электрондық ресурс]. – URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-org/publications/182318/ (жүгінген күні: 03.03.2026).

4. **Kasowska, D. Heavy metal and nutrient uptake in plants colonizing post-flotation copper tailings** / D. Kasowska, K. Gediga, Z. Spiak // Environmental Science and Pollution Research. – 2018. – Vol. 25. – P. 824–835. – DOI: 10.1007/s11356-017-0451-y.

5. **Santini, T.C. Extreme Geochemical Conditions and Dispersal Limitation Retard Primary Succession of Microbial Communities in Gold Tailings** / T. C. Santini, M. Raudsepp, J. Hamilton, J. Nunn // Frontiers in Microbiology. – 2018. – Vol. 9. – Art. 2785. – DOI: 10.3389/fmicb.2018.02785.

6. **Ali, H. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications** / H. Ali, E. Khan, M. A. Sajad // Chemosphere. – 2013. – Vol. 91. – P. 869–881. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.

7. **Mendez, M.O. Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments** / M. O. Mendez, R. M. Maier // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. – 2008. – Vol. 7. – P. 47–59. – DOI: 10.1007/s11157-007-9125-4.

8. **Қазақстан Республикасының Экология кодексі: 2021 жылғы 2 қаңтардағы № 400-VI ҚРЗ** [Электрондық ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2100000400 (жүгінген күні: 03.03.2026).

9. **Жер қойнауы және жер қойнауын пайдалану туралы Қазақстан Республикасының Кодексі: 2017 жылғы 27 желтоқсандағы № 125-VI ҚРЗ (2025 жылғы қаңтардағы өзгерістермен)** [Электрондық ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K1700000125 (жүгінген күні: 03.03.2026).

10. **Қазақстан Республикасының Жер кодексі: 2003 жылғы 20 маусымдағы № 442 Кодекс (2025 жылғы қаңтардағы өзгерістермен)** [Электрондық ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K030000442_ (жүгінген күні: 03.03.2026).

11. **Тіршілік ету ортасының қауіпсіздігіне арналған гигиеналық нормативтерді бекіту туралы: Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрінің 2021 жылғы 21 сәуірдегі № ҚР ДСМ-32 бұйрығы. Тіркелген: 22.04.2021, № 22595** [Электрондық ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100022595 (жүгінген күні: 03.03.2026).

12. **Жерге мониторинг жүргізу жөніндегі әдістемені бекіту туралы: Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрінің 2022 жылғы 10 тамыздағы № 250 бұйрығы. Тіркелген: 11.08.2022, № 29085** [Электрондық ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029085 (жүгінген күні: 03.03.2026).

13. **Ghosh, M. A Review on Phytoremediation of Heavy Metals and Utilization of Its Byproducts** / M. Ghosh, S. P. Singh // Applied Ecology and Environmental Research. – 2005. – Vol. 3, № 1. – P. 1–18. – DOI: 10.15666/aeer/0301_001018.

14. **Kidd, P. Agronomic Practices for Improving Gentle Remediation of Trace Element-Contaminated Soils** / P. Kidd, M. Mench, V. Álvarez-López [et al.] // International Journal of Phytoremediation. – 2015. – Vol. 17, № 11. – P. 1005–1037. – DOI: 10.1080/15226514.2014.1003788.

15. **Bolan, N. S. Phytostabilization: A Green Approach to Contaminant Containment** / N. S. Bolan, J. H. Park, B. Robinson [et al.] // Advances in Agronomy / ed. D. L. Sparks. – Academic Press, 2011. – Vol. 112. – P. 145–204. – DOI: 10.1016/B978-0-12-385538-1.00004-4.

16. **Bolan, N. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize?** / N. Bolan, A. Kunhikrishnan, R. Thangarajan [et al.] // Journal of Hazardous Materials. – 2014. – Vol. 266. – P. 141–166. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.12.018.

17. **Houben, D. Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar** / D. Houben, L. Evrard, P. Sonnet // Chemosphere. – 2013. – Vol. 92, № 11. – P. 1450–1457. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.03.055.

18. **ROOTS for Remediation: Collaborative Phytoremediation in Post-Catastrophe Environments** [Электрондық ресурс]: исследовательский проект / Linnaeus University. – URL: https://www.lnu.se/en/research/research-projects/project-roots-for-remediation---collaborative-phytoremediation-in-post-catastrophe-environments/ (жүгінген күні: 03.03.2026).

19. **Программа воздействия на устойчивые ландшафты засушливых земель (DSL-IP)** [Электрондық ресурс] / Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). – URL: https://www.fao.org/countryprofiles/news-archive/detail-news/ru/c/1741723/ (жүгінген күні: 03.03.2026).

20. **Lago-Vila, M. Phytoavailable content of metals in soils from copper mine tailings (Touro mine, Galicia, Spain)** / M. Lago-Vila, D. Arenas-Lago, L. Andrade, F. A. Vega // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – Vol. 147, Part B. – P. 159–166. – DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.07.001.

21. **Chen, F. Physiological responses and accumulation of heavy metals and arsenic of Medicago sativa L. growing on acidic copper mine tailings in arid lands** / F. Chen, S. Wang, S. Mou [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. – 2015. – Vol. 157. – P. 27–35. – DOI: 10.1016/j.gexplo.2015.05.011.

22. **Närhi, P. Effect of tailings on wetland vegetation in Rautuvaara, a former iron–copper mining area in northern Finland** / P. Närhi, M. L. Räisänen, M.-L. Sutinen, R. Sutinen // Journal of Geochemical Exploration. – 2012. – Vol. 116–117. – P. 60–65. – DOI: 10.1016/j.gexplo.2012.03.005.

23. **Afonso, T. F. Bioprospection of indigenous flora grown in copper mining tailing area for phytoremediation of metals** / T. F. Afonso, C. F. Demarco, S. Pieniz [et al.] // Journal of Environmental Management. – 2020. – Vol. 256. – Art. 109953. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109953.

24. **Xiao, W. L. Bioaccumulation of Heavy Metals by Wild Plants Growing on Copper Mine Spoils in China** / W. L. Xiao, C. L. Luo, Y. H. Chen [et al.] // Communications in Soil Science and Plant Analysis. – 2008. – Vol. 39, № 3–4. – P. 315–328. – DOI: 10.1080/00103620701826415.

25. **Festin, E. S. Biological traits of tropical trees suitable for restoration of copper-polluted lands** / E. S. Festin, C. Salk, M. Tigabu [et al.] // Ecological Engineering. – 2019. – Vol. 138. – P. 118–125. – DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.07.010.

26. **Mussali-Galante, P. The bioaccumulation potential of heavy metals by Gliricidia sepium (Fabaceae) in mine tailings** / P. Mussali-Galante, M. Santoyo-Martínez, M. L. Castrejón-Godínez [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Vol. 30. – P. 38982–38999. – DOI: 10.1007/s11356-022-24904-7.

27. **Acosta-Núñez, L.F. In Situ Phytoremediation of Mine Tailings with High Concentrations of Cadmium and Lead Using Dodonaea viscosa (Sapindaceae)** / L. F. Acosta-Núñez, P. Mussali-Galante, M. L. Castrejón-Godínez [et al.] // Plants. – 2025. – Vol. 14, № 1. – Art. 69. – DOI: 10.3390/plants14010069.

28. **Sagimbayeva, A. M. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil Using Drought-Adapted Sweet Sorghum (Sorghum bicolor L.) in Arid Regions of Kazakhstan** / A. M. Sagimbayeva, N. B. Tomlekova, G. A. Saparov [et al.] // Plants. – 2025. – Vol. 14, № 23. – Art. 3627. – DOI: 10.3390/plants14233627.

29. **Wang, W. Extraction of heavy metals from copper tailings by ryegrass (Lolium perenne L.) with the assistance of degradable chelating agents** / W. Wang, J. Xue, L. Zhang [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – Art. 7663. – DOI: 10.1038/s41598-024-58486-w.

30. **Wilson-Corral, V. Phytoextraction of gold and copper from mine tailings with Helianthus annuus L. and Kalanchoe serrata L.** / V. Wilson-Corral, C. Anderson, M. Rodriguez-Lopez [et al.] // Minerals Engineering. – 2011. – Vol. 24, № 13. – P. 1488–1494. – DOI: 10.1016/j.mineng.2011.07.014.

31. **Ruiz-Huerta, E. A. Bioaccumulation of heavy metals and As in maize (Zea mays L.) grown close to mine tailings strongly impacts plant development** / E. A. Ruiz-Huerta, M. A. Armienta-Hernández, J. G. Dubrovsky [et al.] // Ecotoxicology. – 2022. – Vol. 31. – P. 447–467. – DOI: 10.1007/s10646-022-02522-w.

32. **Santibáñez, C. Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: Implications for metal uptake and productivity of Lolium perenne** / C. Santibáñez, C. Verdugo, R. Ginocchio // Science of The Total Environment. – 2008. – Vol. 395, № 1. – P. 1–10. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.12.033.

33. **Tapia, Y. Phytostabilization of Cu in mine tailings using native plant Carpobrotus aequilaterus and the addition of potassium humates** / Y. Tapia, P. Bustos, O. Salazar [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. – 2017. – Vol. 183, Part A. – P. 102–113. – DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.10.008

34. **Lam, E. J. Evaluation of the phytoremediation potential of native plants growing on a copper mine tailing in northern Chile** / E. J. Lam, M. Cánovas, M. E. Gálvez [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. – 2017. – Vol. 182, Part B. – P. 210–217. – DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.06.015.

35. **Mendoza-Hernández, J. C. Phytoremediation of mine tailings by Brassica juncea inoculated with plant growth-promoting bacteria** / J. C. Mendoza-Hernández, O. R. Vázquez-Delgado, M. Castillo-Morales [et al.] // Microbiological Research. – 2019. – Vol. 228. – Art. 126308. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126308.

36. **Touceda-González, M. Aided phytostabilisation reduces metal toxicity, improves soil fertility and enhances microbial activity in Cu-rich mine tailings** / M. Touceda-González, V. Álvarez-López, Á. Prieto-Fernández [et al.] // Journal of Environmental Management. – 2017. – Vol. 186, Part 2. – P. 301–313. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.09.019.

37. **Rosas-Ramírez, M. Assisted Phytoremediation between Biochar and Crotalaria pumila to Phytostabilize Heavy Metals in Mine Tailings** / M. Rosas-Ramírez, E. Tovar-Sánchez, A. Rodríguez-Solís [et al.] // Plants. – 2024. – Vol. 13, № 17. – Art. 2516. – DOI: 10.3390/plants13172516.

38. **Yelikbayev, B. K. Plant Accumulation of Metals from Soils Impacted by the JSC Qarmet Industrial Activities, Central Kazakhstan** / B. K. Yelikbayev, K. Rysbekov, A. Sankabayeva [et al.] // Environments. – 2026. – Vol. 13, № 1. – Art. 64. – DOI: 10.3390/environments13010064.

REFERENCES:

1. **Proektservis LLP. Ocenka vozdejstviya na okruzhayushhuyu sredu (OVOS) v sostave rabochego proekta «Plan gorny'h rabot mestorozhdeniya "Varvarinskoe"»** [Environmental impact

assessment (EIA) as part of the mining operations plan for the Varvarinskoye deposit]. Karaganda, Proektservis LLP, 2021. (In Russian)

2. **Kazakstan Respublikasynyn e'kologiya zhane tabigi resurstar ministrligi. Korshagan ortanyn zhaj-kui zhane tabigi resurstardy paidalanu turaly ulttyk bayandama, 2024** [Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. National report on the state of the environment and use of natural resources, 2024]. Available at: https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/documents/1?lang=en (accessed 3 March 2026). (In Kazakh)

3. **Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan.** Available at: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-org/publications/182318/ (accessed 3 March 2026). (In Kazakh)

4. **Kasowska D., Gediga K., Spiak Z. Heavy metal and nutrient uptake in plants colonizing post-flotation copper tailings.** *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, pp. 824-835. DOI: 10.1007/s11356-017-0451-y.

5. **Santini T.C., Raudsepp M., Hamilton J., Nunn J. Extreme geochemical conditions and dispersal limitation retard primary succession of microbial communities in gold tailings.** *Frontiers in Microbiology*, 2018, vol. 9, art. 2785. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02785.

6. **Ali H., Khan E., Sajad M.A. Phytoremediation of heavy metals – concepts and applications.** *Chemosphere*, 2013, vol. 91, pp. 869-881. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.

7. **Mendez MO, Maier RM. Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments.** *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2008, vol. 7, pp. 47-59. DOI: 10.1007/s11157-007-9125-4.

8. **Kazakstan Respublikasynyn E'kologiya kodeksi: 2021 zhylgy 2 kantardagy № 400-VI KRZ** [Ecological Code of the Republic of Kazakhstan dated 2 January 2021, No. 400-VI]. Available at: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K2100000400 (accessed 3 March 2026). (In Kazakh)

9. **Zher kojnauy zhane zher kojnauyn pajdalanu turaly Kazakstan Respublikasynyn Kodeksi: 2017 zhylgy 27 zheltoksandagy № 125-VI KRZ (2025 zhylgy kantardagy өzgeristermen)** [Code of the Republic of Kazakhstan on Subsoil and Subsoil Use dated 27 December 2017, No. 125-VI]. Available at: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K1700000125 (accessed 3 March 2026). (In Kazakh)

10. **Kazakstan Respublikasynyn Zher kodeksi: 2003 zhylgy 20 mausymdagy № 442 Kodeks (2025 zhylgy kantardagy ozgeristermen)** [Land Code of the Republic of Kazakhstan: Code No. 442 dated June 20, 2003 (with amendments as of January 2025)]. Available at: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/K030000442_ (accessed 3 March 2026). (In Kazakh)

11. **Tirshilik etu ortasynyn kauipsizdigine arnalgan gigienalyk normativterdi bekitu turaly: Kazakstan Respublikasy Densaulyk saktau ministrinin 2021 zhylgy 21 sauirdegi № ҚR DSM-32 bujrygy. Tirkelgen: 22.04.2021, № 22595** [On approval of hygienic standards for environmental safety, Order No. QR DSM-32, 2021]. Available at: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2100022595 (accessed 3 March 2026). (In Kazakh)

12. **Zherge monitoring zhurgizu zhonindegi adistemeni bekitu turaly: Kazakstan Respublikasy Auyl sharuashylygy ministrinin 2022 zhylgy 10 tamyzdagy № 250 bujrygy. Tirkelgen: 11.08.2022, № 29085** [On Approving the Methodology for Conducting Land Monitoring: Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan No. 250 dated August 10, 2022. Registered: August 11, 2022, No. 29085]. Available at: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2200029085 (accessed 3 March 2026). (In Kazakh)

13. **Ghosh M., Singh S.P. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts.** *Applied Ecology and Environmental Research*, 2005, vol. 3, no. 1, pp. 1-18. DOI: 10.15666/aeer/0301_001018.

14. **Kidd P., Mench M., Álvarez-López V., et al. Agronomic practices for improving gentle remediation of trace element-contaminated soils.** *International Journal of Phytoremediation*, 2015, vol. 17, no. 11, pp. 1005-1037. DOI: 10.1080/15226514.2014.1003788.

15. **Bolan N.S., Park J.H., Robinson B., et al. Phytostabilization: a green approach to contaminant containment.** *Advances in Agronomy*, 2011, vol. 112, pp. 145-204. DOI: 10.1016/B978-0-12-385538-1.00004-4.

16. **Bolan N., Kunhikrishnan A., Thangarajan R., et al. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – to mobilize or to immobilize?** *Journal of Hazardous Materials*, 2014, vol. 266, pp. 141-166. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.12.018.

17. **Houben D., Evrard L., Sonnet P. Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar.** *Chemosphere*, 2013, vol. 92, no. 11, pp. 1450-1457. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.03.055.

18. **Linnaeus University. ROOTS for Remediation: Collaborative Phytoremediation in Post-Catastrophe Environments.** Available at: https://www.lnu.se/en/research/research-projects/project-roots-for-remediation---collaborative-phytoremediation-in-post-catastrophe-environments/ (accessed 3 March 2026).

19. **Prodovol'stvennaya i sel'skohozyajstvennaya organizaciya OON (FAO). Programma vozdejstviya na ustojchivy'e landshafty' zasushlivy'h zemel (DSL-IP)** [Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Dryland Sustainable Landscapes Impact Program]. Available at: https://www.fao.org/countryprofiles/news-archive/detail-news/ru/c/1741723/ (accessed 3 March 2026). (In Russian)

20. **Lago-Vila M., Arenas-Lago D., Andrade L., Vega F.A. Phytoavailable content of metals in soils from copper mine tailings (Touro mine, Galicia, Spain).** *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, vol. 147, part B, pp. 159-166. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.07.001.

21. **Chen F., Wang S., Mou S., et al. Physiological responses and accumulation of heavy metals and arsenic of Medicago sativa L. growing on acidic copper mine tailings in arid lands.** *Journal of Geochemical Exploration*, 2015, vol. 157, pp. 27-35. DOI: 10.1016/j.gexplo.2015.05.011.

22. **Närhi P., Räisänen M.L., Sutinen M.L., Sutinen R. Effect of tailings on wetland vegetation in Rautuvaara, a former iron-copper mining area in northern Finland.** *Journal of Geochemical Exploration*, 2012, vol. 116-117, pp. 60-65. DOI: 10.1016/j.gexplo.2012.03.005.

23. **Afonso T.F., Demarco C.F., Pieniz S., et al. Bioprospection of indigenous flora grown in copper mining tailing area for phytoremediation of metals.** *Journal of Environmental Management*, 2020, vol. 256, art. 109953. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109953.

24. **Xiao W.L., Luo C.L., Chen Y.H., et al. Bioaccumulation of heavy metals by wild plants growing on copper mine spoils in China.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2008, vol. 39, no. 3-4, pp. 315-328. DOI: 10.1080/00103620701826415.

25. **Festin E.S., Salk C., Tigabu M., et al. Biological traits of tropical trees suitable for restoration of copper-polluted lands.** *Ecological Engineering*, 2019, vol. 138, pp. 118-125. DOI: 10.1016/j.ecoleng. 2019.07.010.

26. **Mussali-Galante P., Santoyo-Martínez M., Castrejón-Godínez M.L., et al. The bioaccumulation potential of heavy metals by Gliricidia sepium (Fabaceae) in mine tailings.** *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, pp. 38982-38999. DOI: 10.1007/s11356-022-24904-7.

27. **Acosta-Núñez L.F., Mussali-Galante P., Castrejón-Godínez M.L., et al. In situ phytoremediation of mine tailings with high concentrations of cadmium and lead using Dodonaea viscosa (Sapindaceae).** *Plants*, 2025, vol. 14, no. 1, art. 69. DOI: 10.3390/plants14010069.

28. **Sagimbayeva A.M., Tomlekova N.B., Saparov G.A., et al. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soil using drought-adapted sweet sorghum (Sorghum bicolor L.) in arid regions of Kazakhstan.** *Plants*, 2025, vol. 14, no. 23, art. 3627. DOI: 10.3390/plants14233627.

29. **Wang W., Xue J., Zhang L., et al. Extraction of heavy metals from copper tailings by ryegrass (Lolium perenne L.) with the assistance of degradable chelating agents.** *Scientific Reports*, 2024, vol. 14, art. 7663. DOI: 10.1038/s41598-024-58486-w.

30. **Wilson-Corral V., Anderson C., Rodriguez-Lopez M., et al. Phytoextraction of gold and copper from mine tailings with Helianthus annuus L. and Kalanchoe serrata L.** *Minerals Engineering*, 2011, vol. 24, no. 13, pp. 1488-1494. DOI: 10.1016/j.mineng.2011.07.014.

31. **Ruiz-Huerta E.A., Armienta-Hernández M.A., Dubrovsky J.G., et al. Bioaccumulation of heavy metals and As in maize (Zea mays L.) grown close to mine tailings strongly impacts plant development.** *Ecotoxicology*, 2022, vol. 31, pp. 447-467. DOI: 10.1007/s10646-022-02522-w.

32. **Santibáñez C., Verdugo C., Ginocchio R. Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: implications for metal uptake and productivity of Lolium perenne.** *Science of the Total Environment*, 2008, vol. 395, no. 1, pp. 1-10. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.12.033.

33. **Tapia Y., Bustos P., Salazar O., et al. Phytostabilization of Cu in mine tailings using native plant Carpobrotus aequilaterus and the addition of potassium humates.** *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 183, part A, pp. 102-113. DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.10.008.

34. **Lam E.J., Cánovas M., Gálvez M.E., et al. Evaluation of the phytoremediation potential of native plants growing on a copper mine tailing in northern Chile.** *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 182, part B, pp. 210-217. DOI: 10.1016/j.gexplo.2017.06.015.

35. **Mendoza-Hernández JC, Vázquez-Delgado OR, Castillo-Morales M, et al. Phytoremediation of mine tailings by Brassica juncea inoculated with plant growth-promoting bacteria.** Microbiological Research, 2019, vol. 228, art. 126308. DOI: https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126308.

36. **Touceda-González M., Álvarez-López V., Prieto-Fernández Á., et al. Aided phytostabilisation reduces metal toxicity, improves soil fertility and enhances microbial activity in Cu-rich mine tailings.** *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 186, part 2, pp. 301-313. DOI: 10.1016/j.jenvman. 2016.09.019.

37. **Rosas-Ramírez M., Tovar-Sánchez E., Rodríguez-Solís A., et al. Assisted phytoremediation between biochar and Crotalaria pumila to phytostabilize heavy metals in mine tailings.** *Plants*, 2024, vol. 13, no. 17, art. 2516. DOI: 10.3390/plants13172516.

38. **Yelikbayev B.K., Rysbekov K., Sankabayeva A., et al. Plant accumulation of metals from soils impacted by the JSC Qarmet industrial activities, Central Kazakhstan.** *Environments*, 2026, vol. 13, no. 1, art. 64. DOI: 10.3390/environments13010064.

Жіберілген күні: 25 мамыр 2026 ж. **Қабылданған күні:** 26 маусым 2026 ж.
Жарияланған күні: 30 қыркүйек 2026 ж.

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.

Божекенова Женискуль Турсынбаевна – «8D05101-Биология» ББББ докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., Абай даңғ. 28/1, e-mail: Bozhekenova@mail.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.

Суюндикова Жанар Тулеутаевна – биология ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010008, Астана қ., Қаныш Сәтбаев көш., 2; e-mail: forwork.zhanar@mail.ru.

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.

Божекенова Женискуль Турсынбаевна – докторант ОП 8D05101 – Биология, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, прос., Абая 28/1, e-mail: Bozhekenova@mail.ru.*

Ысқақ Алия – к.с.-х.н., директор научно-исследвательского 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.

Суюндикова Жанар Тулеутаевна – к.б.н., старший преподаватель, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва», Республика Казахстан, 010008, г. Астана, ул. Қаныш Сәтбаев (Сатпаева), 2, e-mail: forwork.zhanar@mail.ru.

Nugmanov Almabek Batyrzanovich – 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.

Bozhekenova Zheniskul Tursynbayevna – PhD student, "8D05101-Biology" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Str., e- mails: Bozhekenova@mail.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.

Suyundikova Zhanar Tuleutayevna – Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University NJSC, Republic of Kazakhstan, 010008, Astana, 2 Kanysh Satbayev Str., e-mail: forwork.zhanar@mail.ru.

МРНТИ 31.27.21, 87.15.19
УДК 633/635.954. 633.11:632.9
https://doi.org/10.52269/SEPT2631174

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕРБИЦИДНОЙ ОБРАБОТКИ И СНИЖЕНИЕ ПЕСТИЦИДНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПАВ НА ПОСЕВАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Нургазиев Р.Е. – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Аужанова М.А. – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Бекимова Г.Б. – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.*

Аширов А.Р. – магистрант кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты двухлетних исследований, проведенных в условиях степной зоны Акмолинской области в 2025–2026 гг., по оценке эффективности применения герби-

цидной обработки при снижении объема рабочей жидкости с использованием полимерного прилипателя. В опыте изучали гербицидную обработку 2,4-Д в дозе 0,5 л/га при расходе рабочей жидкости 200, 100, 50 и 25 л/га, а также аналогичные варианты с добавлением Витанолла в дозе 100 мл/га. Цель исследования заключалась в определении возможности перехода к малообъемной технологии опрыскивания посевов яровой пшеницы при сохранении высокой эффективности контроля сорной растительности и снижении потенциальной пестицидной нагрузки.

При добавлении смачивателя Витанолл 100 мл/га эффективность за счёт равномерного покрытия обрабатываемой поверхности каплями рабочего раствора составила 84-86%. На варианте с расходом рабочей жидкости 100 л/га + Витанолл в дозе 100 мл/га, получено достоверное повышение урожайности яровой пшеницы на 16,5%, против варианта с таким же расходом рабочей жидкости на 14,8%. Установлено, что использование ПАВ позволяет существенно снизить эффективные нормы внесения гербицида, повысить биологическую эффективность обработки и уменьшить затраты.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования полимерного прилипателя при малообъемном опрыскивании посевов яровой пшеницы. Разработанные технологические приемы будут непосредственно рекомендованы для внедрения в практику интенсивного растениеводства при возделывании зерновых культур в регионе.

Ключевые слова: *яровая пшеница, сорная растительность, гербицид, ПАВ, Витанолл, малообъемное опрыскивание.*

АҚМОЛА ОБЛЫСЫНЫҢ ДАЛА АЙМАҒЫ ЖАҒДАЙЫНДА ЖАЗДЫҚ БИДАЙ ЕГІСТІКТЕРІНДЕ ББЗ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ГЕРБИЦИДТІК ӨҢДЕУЛЕРДІҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖӘНЕ ПЕСТИЦИДТІК ЖҮКТЕМЕНІ ТӨМЕНДЕТУ

Нургазиев Р.Е. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Аужанова М.А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Бекимова Г.Б. – PhD доктор, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.*

Аширов Амир Русланович – ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының магистранты, «Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада 2025–2026 жылдары Ақмола облысының дала аймағы жағдайында полимерлі жабыстырғышты пайдалану арқылы жұмыс сұйықтығының көлемін азайту кезінде гербицидтік өңдеудің тиімділігін бағалау бойынша жүргізілген екі жылдық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Тәжірибеде жұмыс сұйықтығының шығыны 200, 100, 50 және 25 л/га болған кезде 0,5 л/га мөлшеріндегі 2,4-Д гербицидімен өңдеу, сондай-ақ 100 мл/га мөлшерінде Витанолл қосылған осыған ұқсас нұсқалар зерттелді. Зерттеудің мақсаты арамшөптермен күресудің жоғары тиімділігін сақтай отырып және ықтимал пестицидтік жүктемені төмендете отырып, жаздық бидай егістігін аз көлемді бүрку технологиясына көшіру мүмкіндігін анықтау болды.

100 мл/га мөлшерінде Витанолл суландырғышын қосқан кезде өңделетін беттi жұмыс ерітіндісінің тамшыларымен біркелкі жабу есебінен тиімділік 84–86%-ды құрады. Жұмыс сұйықтығының шығыны 100 л/га және Витанолл мөлшері 100 мл/га болған нұсқада жаздық бидай өнімділігінің 16,5%-ға сенімді артуы байқалды, ал жұмыс сұйықтығының шығыны дәл сондай, бірақ Витанолл қолданылмаған нұсқада бұл көрсеткіш 14,8%-ды құрады. Беттік-белсенді затты қолдану гербицидті енгізудің тиімді мөлшерін едәуір азайтуға, өңдеудің биологиялық тиімділігін арттыруға және шығындарды төмендетуге мүмкіндік беретіні анықталды.

Алынған нәтижелер жаздық бидай егістігін аз көлемде бүрку кезінде полимерлі жабыстырғышты қолданудың перспективалы екенін көрсетеді. Әзірленген технологиялық тәсілдер өңірде дәнді дақылдарды өсіру барысында қарқынды өсімдік шаруашылығы тәжірибесіне енгізу үшін ұсынылатын болады.

Түйінді сөздер: *жаздық бидай, арамшөптер, гербицид, беттік-белсенді зат, витанол, аз көлемді бүрку.*

IMPROVING HERBICIDE TREATMENT EFFICACY AND REDUCING PESTICIDE LOAD THROUGH THE USE OF SURFACTANTS IN SPRING WHEAT CROPS IN THE STEPPE ZONE OF THE AKMOLA REGION

Nurgaziyev P.Ye. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Auzhanova M.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Bekimova G.B. – PhD, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.*

Ashirov A.R. – Master's student, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of two-year studies conducted in the steppe zone of the Akmola region in 2025-2026 to assess the effectiveness of herbicidal treatment while reducing the volume of working fluid using a polymer sticking agent. In the experiment, the herbicidal treatment of 2,4-D at a dose of 0.5 l/ha with a working fluid flow rate of 200, 100, 50 and 25 l/ha, as well as similar options with the addition of Vitanoll at a dose of 100 ml/ha, was studied. The research objective was to determine the possibility of switching to low-volume technology of spraying spring wheat crops while maintaining high efficiency of weed control and reducing the potential pesticide load. With the addition of Vitanoll 100 ml/ha wetting agent, the efficiency due to the uniform coating of the treated surface with drops of the working solution was 84-86%. In the variant with a working fluid flow rate of -100 l/ha+ Vitanoll at a dose of 100 ml/ha, a significant increase in the yield of spring wheat by 16.5% was obtained, compared to the option with the same working fluid consumption of -14.8%. It was found that the use of surfactants can significantly reduce the effective rates of herbicide application, increase the biological efficiency of treatment and reduce costs. The developed technological techniques will be directly recommended for implementation in the practice of intensive crop production in the cultivation of grain crops in the region.

Key words: *spring wheat, weeds, herbicide, surfactant, Vitanoll, low-volume spraying.*

Введение

В современном земледелии Акмолинской области одной из актуальных проблем остается высокая засоренность сельскохозяйственных угодий, включая распространение трудноискоренимых корнеотпрысковых сорных растений. Борьба с ними только механическими приемами является трудоемкой и не всегда обеспечивает необходимый уровень контроля, поэтому химический метод остается важным элементом современной системы защиты растений и одним из факторов получения стабильной урожайности сельскохозяйственных культур.

Расширение ресурсосберегающих технологий земледелия, в частности No-Till, повышает значение системных гербицидов, обладающих широким спектром действия. Вместе с тем увеличение объемов применения средств защиты растений обусловливает необходимость рационализации их использования с учетом экологических требований и сохранения устойчивости агроэкосистем. По данным странового обзора производства и использования особо опасных пестицидов в Казахстане, за последние десять лет применение пестицидов на единицу площади сельскохозяйственных угодий увеличилось почти втрое [1, с. 28].

Интенсивное применение гербицидов может сопровождаться поступлением действующих веществ и их метаболитов в компоненты агроэкосистемы, что обусловливает необходимость совершенствования технологий химической защиты растений. В связи с этим актуальным является поиск приемов, позволяющих сохранить высокую биологическую эффективность гербицидов при снижении их нормы расхода и уменьшении общего объема рабочей жидкости.

Одним из перспективных направлений оптимизации гербицидных обработок является применение адъювантов, в том числе поверхностно-активных веществ (ПАВ) и полимерных прилипателей. Их использование способствует изменению физико-химических свойств рабочего раствора, улучшению смачивания и растекания капель, повышению их удержания на листовой поверхности и увеличению площади контакта действующего вещества с растением. Это особенно важно при малообъемном опрыскивании, когда эффективность обработки в значительной степени определяется качеством покрытия растительной поверхности рабочим раствором.

Применение ПАВ и полимерных добавок рассматривается как один из способов повышения эффективности использования гербицидов и снижения технологических затрат. При этом эффективность адъювантов зависит от действующего вещества гербицида, его нормы расхода, объема рабочей жидкости, видового состава сорной растительности, погодных условий и качества опрыскивания. Поэтому установление оптимального сочетания гербицида, адъюванта и объема рабочего раствора требует экспериментальной оценки в конкретных почвенно-климатических условиях.

Для степной зоны Акмолинской области данный вопрос представляет особый научный и практический интерес в связи с необходимостью повышения эффективности защиты посевов яровой пшеницы при рациональном использовании средств защиты растений и водных ресурсов.

Данное направление позволит одновременно повысить эффективность контроля сорной растительности, снизить химическую нагрузку на агроэкосистему и обеспечить более рациональное использование средств защиты растений в условиях степной зоны Акмолинской области.

Цель – разработать и внедрить в производство современные технологические алгоритмы снижения пестицидной нагрузки с цифровой моделью прогнозирования урожайности при возделываний зерновых культур в системе интенсивного земледелия.

Задачи:

1. Изучить возможность снижения дозы применяемых ядохимикатов за счёт сокращения объёма рабочих растворов без уменьшения эффективности обработки.

2. Определить влияние сниженных доз ядохимикатов на стабилизацию и воспроизводство плодородия почвы.

3. Разработать цифровую модель прогнозирования урожайности яровой пшеницы на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и сопряжённых наземных измерений.

Методы исследования

Исследования проводились в течение 2025–2026 гг. в условиях степной на посевах яровой пшеницы на опытных полях УНПК «Элит» НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Акмолинской области. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, среднесуглинистый по гранулометрическому составу, с содержанием гумуса 3,4–3,6%. Обеспеченность почвы подвижным фосфором характеризовалась как средняя, подвижным калием – высокая; реакция почвенного раствора составляла pH 7,0–7,2.

Гербицидную обработку проводили смесью 2,4-Д – 0,5 л/га + феноксапроп-П-этил – 0,3 л/га. Расход рабочей жидкости составлял 200, 100, 50 и 25 л/га. В дополнительных вариантах к гербицидной смеси добавляли Витанолл в дозе 100 мл/га при аналогичных объемах рабочей жидкости. Такая схема позволила оценить влияние снижения объема рабочего раствора и присутствия адъюванта на эффективность контроля сорной растительности.

Препарат «Витанолл» представляет собой высокоэффективный смачиватель, сочетающий свойства адъюванта, прилипателя и поверхностно-активного вещества. Его действующим веществом является полиалкиленоксид силоксан, модифицированный полиэфиром.

Схема опыта включала контроль без обработки и варианты гербицидной обработки с различным расходом рабочей жидкости.

Учет сорной растительности проводили количественно-весовым методом на учетных площадках площадью 1 м² до обработки и через 21 день после применения гербицидов. Определяли численность отдельных групп сорняков, выраженную в шт./м², и рассчитывали эффективность гербицидной обработки.

В составе сорного сообщества учитывались многолетние злаковые, малолетние злаковые, многолетние и малолетние двудольные сорняки.

Результаты исследований

Снижение номинальных норм расхода гербицидов традиционно приводит к резкому падению их биологической эффективности, так как действующее вещество сталкивается с рядом естественных защитных барьеров растений и технологических трудностей, такие как плотный защитный восковой налет на поверхности листовой пластины (например, у мари белой) препятствует удержанию и впитыванию капель рабочего раствора [2, с.112].Также биологическую активность гербицидов снижает качество воды для опрыскивания, наличие в воде илистых частиц и органических примесей связывает до половины действующего вещества, а высокая жесткость приводит к образованию нерастворимых комплексов, блокирующих проникновение гербицида в ткани растений [3, с.31].

Влияние засушливого климата на эффективность гербицидов в Казахстане. Применение стандартных норм расхода рабочей жидкости (около 200 л/га), а распыление раствора в виде мелкодисперсного «тумана» ведет к быстрой потере влаги из капель из-за испарения или их сноса ветром. Это одна из особенностей климатических факторов засушливой зоны в Северном Казахстане. Выпадение атмосферных осадков в первые 4–6 часов после проведения химической обработки практически полностью нивелирует гербицидный эффект [4, с.84].

Для преодоления указанных барьеров и безопасного снижения пестицидной нагрузки научно обосновано совместное применение гербицидов с поверхностно-активными веществами (ПАВ/адъювантами) и переход на малообъемные технологии внесения. Использование прилипателя-смачивателя Витанолл на основе полиалкиленоксид силоксана, модифицированного полиэфиром ПАВ обладают дифильным строением, благодаря чему они встраиваются в структуру воды, разрушают межмолекулярные связи и резко снижают её поверхностное натяжение. В результате рабочий раствор ложится на гидрофобную поверхность листа не в виде скатывающихся капель, а в форме сплошной тонкой пленки. Это обеспечивает максимальный контакт препарата с листовой пластиной, частично растворяет защитный воск кутикулы, предотвращает смыв состава росой или дождем, снижает испарение и ускоряет абсорбцию действующего вещества сорными растениями. Использование специализированных адъювантов позволяет без потери биологической эффективности снижать дозу системного гербицида на 20–50%.

Сокращение расхода воды с традиционных 200 л/га до 30–50 л/га экономит водные ресурсы, сокращает транспортные расходы на подвоз воды и расход ГСМ, а также повышает сменную производительность опрыскивающих агрегатов. Ключевым технологическим приемом повышения эффективности глифосата при малых объемах является добавление в рабочий раствор физиологически кислых удобрений, солей аммония, что повышает гербицидный эффект на 25–40%, что говорит о эффективности малообъемных технологий. Поэтому особое значение данный механизм приобретает при малообъемном опрыскивании, когда на единицу площади поступает меньшее количество воды. В таких условиях качество распределения капель по поверхности растений становится одним из важных факторов эффективности обработки.

Исследования в области оптимизации химических обработок за счет ПАВ демонстрируют лавинообразный рост научных публикаций во всем мире, начиная с 2019 года. Ведущие исследовательские центры Европы, Азии и Северной Америки активно занимаются разработкой комплексных агротехнологических решений, направленных на минимизацию экологического пресса пестицидов при сохранении стабильной продуктивности агроценозов. Международная практика подтверждает колоссальный потенциал этого направления: например, исследования индийских ученых доказали, что при научно обоснованном подборе сезона и добавлении эффективных ПАВ номинальную дозу ггербицида можно снизить в 10 раз без потери контроля над злостными сорняками (*Cyperus rotundus L.*) [5, с.40].

В связи с этим критически важной научной задачей является применение, экологически безопасных адъювантов, которые позволят повысить целевую эффективность гербицида и за счет этого снизить пестицидную нагрузку [6, с.108].

Основная задача вспомогательных компонентов – повысить эффективность гербицида в составе препарата за счет улучшения его прилипания к тканям листьев сорняков даже в случае дождя и ускорения проникновения через эпидермис тканей листьев сорняков. Кроме того, вспомогательные компоненты в гербицидах на основе глифосата способствуют проникновению глифосата в клетки растений [7, с.24; 8, с.158-161].

Показано, что правильно подобранный комплексный адъювант (в т.ч. с ПАВ) позволяет снизить дозу nicosulfurona, сохраняя эффективность контроля сорняков на уровне стандартной дозы без адъюванта. Подчёркивается: адъювант не универсален, подбор зависит от гербицида и культуры [9, с.348].

Аналогичные полевые исследования проводились в 2017–2019 годах в Центрально-Западной Польше на базе научно-образовательного центра REC Brody Познанского университета естественных наук. Основными сорняками выступали марь белая (*Chenopodium album*), куриное просо (*Echinochloa crus-galli*), герань малая (*Geranium pusillum*), горец вьюнковый (*Fallopia convolvulus*) и фиалка полевая (*Viola arvensis*) Наличие сорной растительности на полях в первые недели после посева приводит к потерям урожая зерна в диапазоне от 13–30%, а при сильном засорении – более чем к 70%. Современные законодательные изменения позволяют аграриям снижать дозы химикатов при условии соблюдения правил надлежащей практики защиты растений. Однако снижение норм расхода гербицидов часто влечет за собой существенное падение их биологической эффективности. Для преодоления кутикулярных и анатомических барьеров листьев сорняков при использовании уменьшенных доз необходимо применять эффективные многофункциональные (многокомпонентные) адъюванты [10, с.26].

Избыточное содержание пестицидов в почве может негативно влиять на почвенные организмы, снижая их биодоступность и, как следствие, ухудшая качество почвы. Микроорганизмы и ферменты почвы служат надежными биоиндикаторами для оценки степени химического загрязнения и качества почвенной среды.

Полученные данные могут быть использованы для установления пороговых доз пестицидов, не оказывающих губительного воздействия на экосистему [11, с.18]. Современные технологии точного земледелия позволяют существенно снизить расход гербицидов и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, разработаны системы дифференцированного внесения гербицидов на основе GPS-картирования, позволяющую уменьшить объем применения препаратов по сравнению с традиционным равномерным опрыскиванием [12, с. 134;13, с.4; 14, с. 7].

Особую тревогу вызывает тот факт, что из-за повсеместного использования гербицидов его следы обнаруживаются в пище, воде, моче и даже грудном молоке, что делает воздействие на население хроническим. Ряд авторов призывают к немедленному пересмотру текущих стандартов безопасности и проведению долгосрочных проспективных когортных исследований на людях, так как имеющиеся данные свидетельствуют о высоком риске для репродуктивного здоровья и развития будущих поколений растений [13, с. 8; 15, с. 4].

Несмотря на высокую эффективность гербицидов против сорной растительности, превышение рекомендуемых доз может негативно влиять на физиологическое состояние культурных растений, высокие концентрации глифосата приводят к значительному снижению сухой массы растений сахарного тростника и нарушению метаболических процессов. [16, с.14]. Поскольку все гербициды воздействуют на пути или процессы, имеющие решающее значение для растений, оказывая ингибирующее или стимулирующее действие, низкие дозы любого гербицида можно использовать для регулирования роста, развития или состава растений [17, с.1068]. Пестициды подавляет биологическую активность почвы, особенно при высоких дозировках. Микроорганизмы и ферменты почвы служат надежными биоиндикаторами для оценки степени химического загрязнения и качества почвенной среды. В исследованиях установлены пороговые дозы пестицидов, не оказывающих губительного воздействия на экосистему. Потенциальное влияние гербицидов на функции почвы, как правило, незначительны или временны при применении в рекомендуемых дозах [18, с. 254;19, с.74].

Для повышения эффективности пестицидов полимеры с высокой степенью полимеризации эффективно замедляют процесс испарения капель на поверхности листа по сравнению с чистым гербицидом. Это открывает новые возможности для точного земледелия, позволяя значительно снизить потери препарата, уменьшить загрязнение окружающей среды и повысить биологическую эффективность обработки даже на супергидрофобных сорняках. Полевые исследования показали, что состав

гербициды с ПАВ адъювантом превосходит по эффективности существенно снижает поверхностное натяжение, это позволяет каплям препарата лучше удерживаться на поверхности листьев и эффективнее их смачивают. Различные виды применяемых неионогенных ПАВ в определенных концентрациях могут не подавлять, а, напротив, стимулировать рост бактерий, что свидетельствует о способности компонентов гербицидных смесей изменять их воздействие на микроорганизмы Использование натуральных адъювантов, является перспективным способом повышения эффективности гербицидов при одновременном снижении их экологической нагрузки и токсичности [20, с. 54; 21, с. 44].

Эффективность применения гербицидов напрямую зависит от сложных, видоспецифичных взаимодействий между гербицидом, адъювантами и структурными особенностями поверхности листьев конкретных сорняков. Понимание этих механизмов позволяет оптимизировать дозировки препарата, снизить затраты на обработку и минимизировать экологическую нагрузку на окружающую среду.

В условиях засушливых и сухих зон Казахстана, где дефицит воды является постоянным спутником земледелия, применение малообъемных технологий при уходе за посевами является актуальным вопросом. В наших исследованиях включали обработку посева пшеницы против двудольных и злаковых сорняков гербицидом 2,4 Д (2-этилгексиловый эфир) в дозе 0,5 л/га, с изначальным расходом рабочей жидкости 200 л/га, с уменьшением на последующих вариантах расход рабочей жидкости до 100 л/га, 50 л/га и 25 л/га (таблица 1). В опыт также были включены варианты с использованием Витанолл-смачивателя, который должен повысить эффективность обработки за счёт равномерного покрытия обрабатываемой поверхности каплями рабочего раствора. Использование прилипателей улучшает смачивание и увеличивает площадь покрытия опрыскиваемой поверхности рабочим раствором, снижает поверхностное натяжение водных растворов. С использованием Витанолл-смачивателя изучались следующие варианты: обработка гербицидом 2,4 Д -0,5 л/га + Витанолл 100 мл/га, расход рабочей жидкости – 100 л/га; обработка гербицидом 2,4 Д -0,5 л/га + Витанолл 100 мл/га, расход рабочей жидкости – 50 л/га; обработка гербицидом 2,4 Д -0,5 л/га.+Витанолл 100 мл/га, расход рабочей жидкости – 25 л/га.

Витанолл в исследуемой системе выполняет функцию адъюванта (смачивателя и прилипателя) и не обладает самостоятельным гербицидным действием. Его назначение заключается в изменении физико-химических свойств рабочего раствора и улучшении взаимодействия капли с листовой поверхностью сорных растений.

На основном этапе обработки и анализа изображений были построены карты нормализованного вегетационного индекса (NDVI) и нормализованного вегетационного индекса зелености (GNDVI) с использованием спектральных каналов ближнего инфракрасного (NIR), красного (RED), красного края (RED EDGE), зеленого (GREEN).

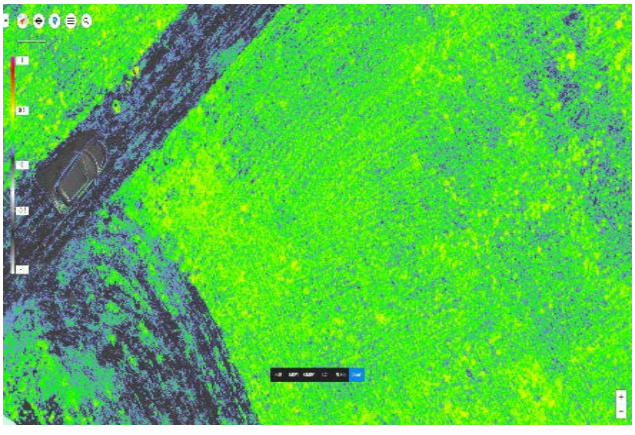
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом).

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра проявляется максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области находится область максимального отражения клеточных структур листа.

Высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять и анализировать растительные сообщества от прочих природных объектов.

Индексные изображения по окончанию обработки были сформированы в качестве картографического произведения. Вегетационный индекс иллюстрируется согласно международной системе отображения NDVI. Такая градация предполагает разделение значений индекса на 18 классов от -1 до +1. Применение данного типа визуализации удобно для сравнения нескольких полей, однако не всегда отображает разрозненность значений внутри полей (рисунок 1).





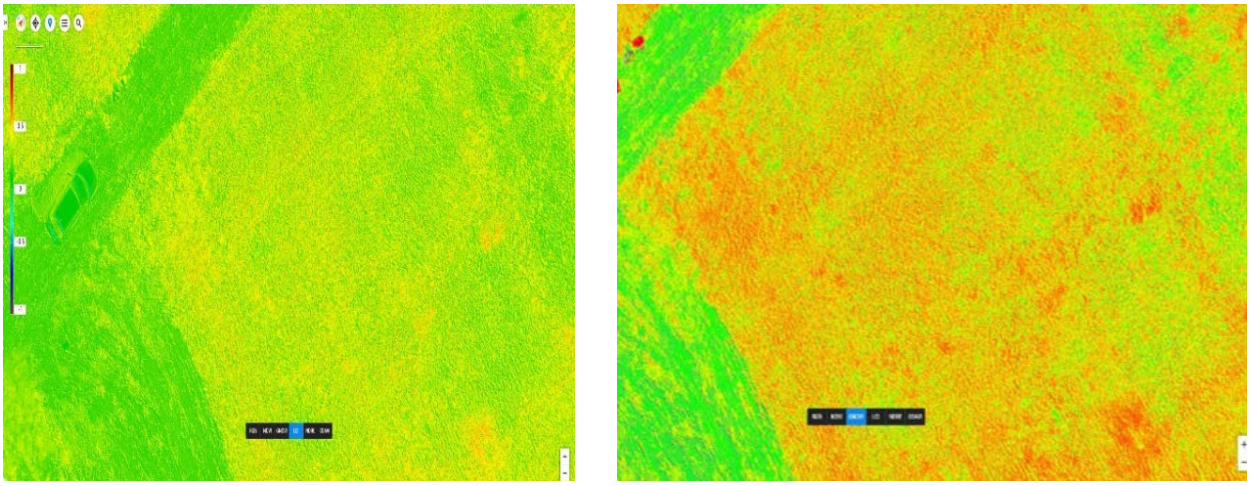


Рисунок 1 – Распределение значения индекса NDVI опытного участка

Полученные данные свидетельствуют об однородном развитий пшеницы. Поле обладает высоким проективным покрытием вегетирующей культур. Высыхание прослеживается в результате понижения значений индекса по краям и в центре поля, часть поля продолжает вегетировать.

Проведенные в 2025–2026 гг. наблюдения показали, что снижение объема рабочей жидкости при сохранении нормы действующих веществ по-разному влияло на эффективность контроля сорной растительности. В опыте были представлены многолетние и малолетние злаковые, а также двудольные сорняки, причем их видовой и количественный состав существенно варьировал по годам. Наибольшее число видов сорняков относится в порядке убывания к сложноцветным злаковым, щирицевым, вьюнковым, маревым, реже гречишным, крестоцветным и другие. Типичными и наиболее распространенными из перечисленных сорняков при возделывании сельскохозяйственных культур в зоне проведения исследований являются: бодяк полевой, осот полевой, вьюнок полевой, полынь горькая, щирица, овсюг, просовидные и другие (таблица 1).

Таблица 1 – Общая эффективность вариантов (суммарная численность сорняков, шт.)

Варианты	2025г.			2026г.		
	Количество сорняков, шт/м^2		Эффективность, %	Количество сорняков, шт/м^2		Эффективность, %
	до обработки	после обработки		до обработки	после обработки	
Обработка гербицидом 2,4 Д (2-этил гексиловый эфир), - 0,5 л/га. Расход рабочей жидкости – 200 л/га	51,3	8,8	82,8	72,9	15,8	78,3
2,4 Д -0,5 л/га. – 100 л/га	59,97	12,7	79,5	58,9	13,5	77,1
2,4 Д -0,5 л/га. 50 л/га	62,3	13,6	78,2	70,3	16,1	77,1
2,4 Д -0,5 л/га. 25 л/га	66,7	17,3	74,1	48,4	11,6	76,0
2,4 Д -0,5 л/га+Витанолл 100 мл/га. 100 л/га	61,2	9,7	84,2	62,3	8,6	86,2
2,4 Д -0,5 л/га+Витанолл 100 мл/га. – 50 л/га	55,2	10,5	81,0	67,2	13,0	80,7
2,4 Д -0,5 л/га+Витанолл 100 мл/га. – 25 л/га	52,9	9,7	81,7	48,2	10,5	78,2

Результаты наблюдений показали, что на варианте обработка гербицидом 2,4 Д (2-этил гексиловый эфир), с расходом рабочей жидкости –200 л/га, эффективность баковой смеси препаратов составила 80,6%. На варианте снижения рабочей жидкости до 100 л/га, существенных изменений по эффективности действия на засоренность посева яровой пшеницы не наблюдалось, где средний показатель составил 78%. На вариантах снижения рабочего раствора до 50л/га и 25 л/га эффективность препаратов составила в среднем 78 и 75 %, т.е. находилась в пределах показателей по другим вариантам опыта.

На вариантах использования в баковой смеси с гербицидами Витанолл-смачивателя, эффективность препаратов повысилась. Так, на варианте обработки гербицидом 2,4 Д -0,5 л/га+ Витанолл 100 мл/га с расходом рабочей жидкости –100 л/га эффективность по видам сорняков составила от 84 до 86%, где средний показатель – 85,2% (таблица 1). Со снижением нормы расхода рабочей жидкости, эффективность препаратов в баковой смеси оставалась также высокой, со средним значением на варианте 50 л/га – 81%, а на варианте 25 л/га – 80%.

В исследуемые годы при расходе рабочей жидкости 200 л/га средняя эффективность гербицидной обработки по представленным в таблице видам сорняков составила около 82,8%. При снижении объема рабочей жидкости до 100, 50 и 25 л/га средняя эффективность составила соответственно 78 до 75%, то есть при уменьшении объема рабочего раствора без смачивателя наблюдалась тенденция к некоторому снижению эффективности. Иная закономерность отмечена при использовании Витанолла в дозе 100 мл/га. При расходе рабочей жидкости 100 л/га средняя эффективность составила 85,2%, при 50 л/га – 80,9%, а при минимальном объеме 25 л/га достигла 79,9%. Таким образом, в условиях 2025 года добавление Витанолла позволило не только компенсировать снижение объема рабочего раствора, но и повысить среднюю эффективность гербицидной обработки по сравнению с вариантами без смачивателя. Особенно показательным является вариант 100 л/га + Витанолл 100 мл/га, где эффективность по отдельным группам сорняков составила 94% для многолетних злаковых, 83% – для двудольных, 83% – для малолетних злаковых и 85% – для малолетних двудольных. Средний показатель по представленным группам достиг 85,25%, что является максимальным результатом среди вариантов.

Таким образом, результаты проведенных наблюдений за влиянием снижения объемов применяемых растворов ядохимикатов с использованием полимерного прилипателя на видовой и количественный состав сорной растительности на посевах яровой пшеницы в условиях отчетного года показали, что снижение расхода рабочей жидкости не оказали влияние на эффективность их действия на сорный компонент, где на вариантах без смачивателя она составила 78-80%, при добавлений Витанолла 100 мл/га была выше и составила в среднем по изучаемым вариантам 84-86%, что достигалась за счёт равномерного покрытия обрабатываемой поверхности каплями рабочего раствора.

Для определения продуктивности и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от снижения объемов применяемых растворов ядохимикатов с использованием полимерного прилипателя, проводились наблюдения за показателями высоты растений в см., числа зерен в колосе в шт., массы 1000 зерен, в г., содержание клейковины в % и урожайности зерна в ц с га. Все эти показатели в изучаемых вариантах были выше по сравнению с контролем. Так, высота растений колебалась от 55,7см на контроле до 77см на варианте обработки гербицидом 2,4 Д -0,5 л/га + Витанолл 100 мл/га с нормой расхода рабочей жидкости – 50 л/га.

Число зерен в колосе один из важных компонентов урожайности, который определяет массу зерна с одного колоса. По вариантам наибольшее число зерен в колосе отмечено, где проводились обработка гербицидом 2,4 Д -0,5 л/га +Витанолл 100 мл/га, с расходом рабочей жидкости – 100 л/га и обработка гербицидом 2,4 Д, -0,5 л/га, расход рабочей жидкости –200 л/га, которые составили 25,7 и 25,3 шт., соответственно. Наименьшее количество зерна в колосе было на контрольном варианте – 23,4 шт.

Масса 1000 зерен варьировала от 44,8 г. на контроле до 45,8 г. на варианте обработка гербицидом 2,4 Д -0,5 л/га +Витанолл 100 мл/га с расходом рабочей жидкости – 100 л/га. В остальных вариантах опыта, масса 1000 зерен находилась между этими показателями.

Урожайность яровой пшеницы на контрольном варианте составила 16,2 ц/га. (таблица 2). При добавлениях смачивателя Витанолл, на варианте обработка гербицидом 2,4 Д -0,5 л/га +Витанолл 100 мл/га, с расходом рабочей жидкости –100 л/га, достоверное повышение урожая яровой пшеницы по сравнению с контролем составило 30,8%. На варианте с расходом рабочей жидкости достоверная прибавка урожая по отношению к контролю составила 25,3%, а на варианте расхода рабочей жидкости 25 л/га – 22,8%.

Снижение расхода рабочей жидкости с 200 до 25 л/га при применении гербицидной смеси без адъюванта сопровождалось постепенным снижением урожайности с 21,5 до 19,1 ц/га. Использование Витанолла в дозе 100 мл/га позволило частично компенсировать снижение объема рабочего раствора: при его сокращении до 100, 50 и 25 л/га урожайность составила соответственно 21,2; 20,3 и 19,9 ц/га. Наиболее выраженный эффект отмечен при расходе 100 л/га, где урожайность практически не отличалась от стандартного варианта 200 л/га без Витанолла, при одновременном двукратном сокращении расхода рабочей жидкости (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели сравнительной продуктивности и качество яровой пшеницы в зависимости от снижения объемов применяемых растворов ядохимикатов с использованием полимерного прилипателя (2025 г.).

Варианты опыта	Урожайность		Клейковина,%
	ц/га	+/-	
Контроль (без обработки)	16,2	-	26,0
Обработка гербицидом 0,5 л/га- 200 л/га	21,5	+5,3	26,9
Обработка гербицидом 0,5 л/га–100 л/га	20,9	+4,7	26,0
Обработка гербицидом 0,5 л/га –50 л/га	19,9	+3,7	25,3
Обработка гербицидом -0,5 л/га25 л/га	19,1	+2,9	26,3
Обработка гербицидом 0,5 л/га. + Витанолл 100 мл/га. – 100 л/га	21,2	+5,0	27,0
Обработка гербицидом -0,5 л/га +Витанолл 100 мл/га. – 50 л/га	20,3	+4,1	27,1
Обработка гербицидом -0,5 л/га. +Витанолл 100 мл/га. – 25 л/га	19,9	+3,7	26,7
НСР	0,6		

Следует отметить, что добавление в баковую смесь смачивателя Витанолл в дозе 100 мл/га, за счёт равномерного покрытия обрабатываемой поверхности каплями рабочего раствора. обеспечило более высокую эффективность действия гербицидов против засоренности посевов яровой пшеницы, что в свою очередь отразилось на урожайности, где достоверное повышение с расходом рабочей жидкости – 100 л/га составило 16,5%, против варианта с таким же расходом рабочей жидкости – 14,8%. На вариантах с расходом рабочих растворов 50 л/га и 25 л/га с добавлением Витанолл в дозе 100 мл/га, превышение урожайности яровой пшеницы было больше на 2,2% и 4,4% по сравнению с аналогичными вариантами без добавления смачивателя Витанолл. Определение содержания клейковины по вариантам опыта показали, что она варьирует от 25,3% до 27,1%.

В наших исследованиях оптимизация физико-химических свойств рабочего раствора адъюванты снизили поверхностное натяжение до оптимального для удержания и растекания капель диапазона.

Заключение. Результаты двухлетних наблюдений показали, что исходный видовой и количественный состав сорной растительности существенно различался между годами. В 2025 году на контрольном варианте численность многолетних злаковых составляла 2,5 шт./м², двудольных – 30,1, малолетних злаковых – 17,9 и двудольных – 13,5 шт./м². В 2026 году соответствующие значения составили 3,1; 23,2; 14,1 и 20,9 шт./м². Это свидетельствует о различиях в структуре сорного сообщества по годам и подтверждает необходимость оценки эффективности гербицидных технологий в динамике.

Таким образом, прямой линейной зависимости между снижением объема рабочей жидкости и эффективностью гербицидной обработки установлено. Снижение объема раствора до 25–50 л/га в отдельных вариантах позволяло сохранять достаточно высокую эффективность, однако показатели зависели от группы сорняков и условий конкретного года.

Финансирование. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR28712213).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Страновой обзор производства и использования особо опасных пестицидов в Казахстане** [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: https://ipen-china.org/sites/default/files/documents/final_ru_kazakhstan_hhp_country_situation_report_final_18.05.2020.pdf (дата обращения: 31.08.2026).

2. **Пикушова Э.А., Василько В.П., Белый А.И. Концепция интегрированной системы защиты растений от вредных организмов (сорные растения: вредоносность, биоразнообразие, биология, ассортимент гербицидов)** [Текст]: учебное пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2020. – 137 с. – ISBN 978-5-907294-97-4.

3. **Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я. Зависимость уровня гербицидной активности глифосатсодержащих препаратов от расхода рабочих растворов** [Текст] // Защита и карантин растений. – 2016. – № 1. – С. 29–33.

4. **Abdolahi M., Benakashani F., Soltani E., Karimi S., Akbari G. A. Comparative study of influence of water stress on effectiveness of sulfosulfuron to two species of weeds through biomass and photophysiological parameters** [Text] // Crop Protection. – 2024. – Vol. 178. – Article 106589. – DOI: 10.1016/j.cropro.2024.106589.

5. **Devendra R., Ashok M., Chandranaik M., Ashok Kumar T. N., Ramachandra Prasad T. V. Importance of growing season and surfactant in reduction of glyphosate dosage in control of Cyperus rotundus L.** [Text] // Journal of Plant Biology. – 2005. – Vol. 32. – No. 1. – P. 39–42.

6. **Hao Y., Zhang N., Xu W., Gao J., Zhang Y., Tao L. A natural adjuvant shows the ability to improve the effectiveness of glyphosate application** [Text] // Journal of Pesticide Science. – 2019. – Vol. 44. – No. 2. – P. 106–111. – DOI: 10.1584/jpestics.D18-066.

7. **Mesnage R., Antoniou M. N. Ignoring adjuvant toxicity falsifies the safety profile of commercial pesticides** [Text] // Frontiers in Public Health. – 2018. – Vol. 5. – Article 361. – DOI: 10.3389/fpubh.2017.00361.

8. **Defarge N., Spiroux de Vendômois J., Séralini G. E. Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides** [Text] // Toxicology Reports. – 2018. – Vol. 5. – P. 156–163. – DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.12.025.

9. **Liu Z. Q., Zabkiewicz J. A. Uptake of glyphosate into wheat: surfactant interaction and mechanistic implications** [Text] // New Zealand Plant Protection. – 2000. – Vol. 53. – P. 345–349.

10. **Idziak R., Sobczak A., Waligóra H., Szulc P. Impact of multifunctional adjuvants on efficacy of sulfonylurea herbicide applied in maize (Zea mays L.)** [Text] // Plants. – 2023. – Vol. 12. – No. 5. – Article 1118. – DOI: 10.3390/plants12051118.

11. **Baćmaga M., Wyszkowska J., Kucharski J. Influence of forecrop on soil quality estimated on the basis of the growth and development of faba bean and biochemical properties of the soil** [Text] // Sustainability. – 2024. – Vol. 16. – No. 17. – Article 7492. – DOI: 10.3390/su16177492.

12. **Rashidi M., Mohammadzamani D. Variable rate herbicide application using GPS and generating a digital management map** [Text] // Herbicides, Theory and Applications. – London: IntechOpen, 2011. – P. 127–144.

13. **Влияние пестицидов на здоровье человека** [Электронный ресурс]. – URL: https://www.greencross.by/sites/default/files/files-for download/2019/razdel_1_glava_1.3_vliyanie_pesticidov_na_zdorove_cheloveka_0.pdf (дата обращения: 31.08.2026).

14. **Анучина А.В. Токсическое действие пестицидов на организм человека и животных** [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: https://s.eduherald.ru/pdf/2019/1/19454.pdf (дата обращения: 31.08.2026).

15. **Muñoz J. P., Bleak T. C., Calaf G. M. Glyphosate and the key characteristics of an endocrine disruptor: a review** [Text] // Chemosphere. – 2021. – Vol. 270. – Article 128619. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128619.

16. **Belz R. G., Carbonari C. A., Duke S. O. The potential influence of hormesis on evolution of resistance to herbicides** [Text] // Current Opinion in Environmental Science & Health. – 2022. – Vol. 27. – Article 100360. – DOI: 10.1016/j.coesh.2022.100360.

17. **Brito I. P. F. S., Tropaldi L., Carbonari C. A., Velini E. D. Hormetic effects of glyphosate on plants** [Text] // Pest Management Science. – 2018. – Vol. 74. – No. 5. – P. 1064–1070. – DOI: 10.1002/ps.4523.

18. **Baćmaga M., Kucharski J., Wyszkowska J. Microbiological and biochemical properties of soil polluted with a mixture of spiroxamine, tebuconazole, and triadimenol under the cultivation of Triticum aestivum L.** [Text] // Environmental Monitoring and Assessment. – 2019. – Vol. 191. – No. 7. – Article 416. – DOI: 10.1007/s10661-019-7539-4.

19. **Rose M. T., Ng E. L., Weng Z., Wood R., Rose T. J., Van Zwieten L. Minor effects of herbicides on microbial activity in agricultural soils are detected by N-transformation but not enzyme activity assays** [Text] // European Journal of Soil Biology. – 2018. – Vol. 87. – P. 72–79. – DOI: 10.1016/j.ejsobi.2018.04.003.

20. **Song Y., Huang G., Zheng L., Huang Q., Cao L., Li F. Polymer additives regulate the deposition behavior of pesticide droplets on target plants** [Text] // Polymer Testing. – 2021. – Vol. 93. – Article 106958. – DOI: 10.1016/j.polymertesting.2020.106958.

21. **Amajioyi J., Nleya T., Subramanian S., Clay S. A. Herbicide and additive impacts on Bradyrhizobium japonicum growth in solution** [Text] // Agrosystems, Geosciences & Environment. – 2023. – Vol. 6. – No. 3. – Article e20416. – DOI: 10.1002/agg2.20416.

REFERENCES:

1. **Stranovoj obzor proizvodstva i ispol'zovaniya osobo opasny'h pesticidov v Kazahstane** [Country review of the production and use of highly hazardous pesticides in Kazakhstan]. 2020. Available at: https://ipen-china.org/sites/default/files/documents/final_ru_kazakhstan_hhp_country_situation_report_final_18.05.2020.pdf (accessed 31 August 2026). (In Russian)

2. **Pikushova E.A., Vasilko V.P., Belyj A.I. Koncepciya integrirovannoj sistemy' zashhity' rastenij ot vredny'h organizmov (sorny'e rasteniya: vredonosnost', bioraznoobrazie, biologiya, assortiment gerbicidov)** [Concept of an integrated plant protection system against harmful organisms (weeds: harmfulness, biodiversity, biology, and range of herbicides)]. *Krasnodar, KubGAU.,* 2020. 137 p. ISBN 978-5-907294-97-4. (In Russian)

3. **Nikitin N.V., Spiridonov Yu.Ya. Zavisimost' urovnya gerbicidnoj aktivnosti glifosatsoderzhashhih preparatov ot rashoda rabochih rastvorov** [Dependence of the herbicidal activity of glyphosate-containing preparations on the application rate of working solutions]. *Zashhita i karantin rastenij,* 2016, no. 1, pp. 29–33. (In Russian)

4. **Abdolahi M., Benakashani F., Soltani E., Karimi S., Akbari G.A. Comparative study of influence of water stress on effectiveness of sulfosulfuron to two species of weeds through biomass and photophysiological parameters.** *Crop Protection,* 2024, vol. 178, art.106589. DOI: 10.1016/j.cropro.2024.106589.

5. **Devendra R., Ashok M., Chandranaik M., Ashok Kumar T.N., Ramachandra Prasad T.V. Importance of growing season and surfactant in reduction of glyphosate dosage in control of Cyperus rotundus L.** *Journal of Plant Biology,* 2005, vol. 32, no. 1, pp. 39–42.

6. **Hao Y., Zhang N., Xu W., Gao J., Zhang Y., Tao L. A natural adjuvant shows the ability to improve the effectiveness of glyphosate application.** *Journal of Pesticide Science,* 2019, vol. 44, no. 2, pp. 106–111. DOI: 10.1584/jpestics.D18-066.

7. **Mesnage R., Antoniou M.N. Ignoring adjuvant toxicity falsifies the safety profile of commercial pesticides.** *Frontiers in Public Health,* 2018, vol. 5, art. 361. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00361.

8. **Defarge N., Spiroux de Vendômois J., Séralini G.E. Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides.** *Toxicology Reports,* 2018, vol. 5, pp. 156–163. DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.12.025.

9. **Liu Z.Q., Zabkiewicz J.A. Uptake of glyphosate into wheat: surfactant interaction and mechanistic implications.** *New Zealand Plant Protection,* 2000, vol. 53, pp. 345–349.

10. **Idziak R., Sobczak A., Waligóra H., Szulc P. Impact of multifunctional adjuvants on efficacy of sulfonylurea herbicide applied in maize (Zea mays L.).** *Plants,* 2023, vol. 12, no. 5, art. 1118. DOI: 10.3390/plants12051118.

11. **Baćmaga M., Wyszkowska J., Kucharski J. Influence of forecrop on soil quality estimated on the basis of the growth and development of faba bean and biochemical properties of the soil.** *Sustainability,* 2024, vol. 16, no. 17, article 7492. DOI: 10.3390/su16177492.

12. **Rashidi M., Mohammadzamani D. Variable rate herbicide application using GPS and generating a digital management map.** *Herbicides, Theory and Applications, London, IntechOpen,* 2011, pp. 127–144.

13. **Vliyanie pesticidov na zdorov'e cheloveka** [Effects of pesticides on human health]. Available at: https://www.greencross.by/sites/default/files/files-for-download/2019/razdel_1_glava_1.3_vliyanie_pesticidov_na_zdorove_cheloveka_0.pdf (accessed 31 August 2026). (In Russian)

14. **Anuchina A.V. Toksicheskoe dejstvie pesticidov na organizm cheloveka i zhivotny'h** [Toxic effects of pesticides on humans and animals]. 2019. Available at: https://s.eduherald.ru/pdf/2019/1/19454.pdf (accessed 31 August 2026). (In Russian)

15. **Muñoz J.P., Bleak T.C., Calaf G.M. Glyphosate and the key characteristics of an endocrine disruptor: a review.** *Chemosphere*, 2021, vol. 270, art.128619. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128619.

16. **Belz R.G., Carbonari C.A., Duke S.O. The potential influence of hormesis on evolution of resistance to herbicides.** *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2022, vol. 27, art. 100360. DOI: 10.1016/j.coesh.2022.100360.

17. **Brito I.P.F.S., Tropaldi L., Carbonari C.A., Velini E.D. Hormetic effects of glyphosate on plants.** *Pest Management Science,* 2018, vol. 74, no. 5, pp. 1064–1070. DOI: 10.1002/ps.4523.

18. **Baćmaga M., Kucharski J., Wyszkowska J. Microbiological and biochemical properties of soil polluted with a mixture of spiroxamine, tebuconazole, and triadimenol under the cultivation of Triticum aestivum L.** *Environmental Monitoring and Assessment,* 2019, vol. 191, no. 7, art. 416. DOI: 10.1007/s10661-019-7539-4.

19. **Rose M.T., Ng E.L., Weng Z., et al. Minor effects of herbicides on microbial activity in agricultural soils are detected by N-transformation but not enzyme activity assays.** *European Journal of Soil Biology,* 2018, vol. 87, pp. 72–79. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2018.04.003.

20. **Song Y., Huang G., Zheng L., Huang Q., Cao L., Li F. Polymer additives regulate the deposition behavior of pesticide droplets on target plants.** *Polymer Testing,* 2021, vol. 93, art. 106958. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2020.106958.

21. **Amajioyi J., Nleya T., Subramanian S., Clay S.A. Herbicide and additive impacts on Bradyrhizobium japonicum growth in solution.** *Agrosystems, Geosciences & Environment,* 2023, vol. 6, no. 3, art. e20416. DOI: 10.1002/agg2.20416.

Дата поступления: 29 мая 2026 г. **Принято:** 09 июня 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Аужанова Мария Асылхановна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан, 020000, ул. Абая 76, тел.: 87015425375, e-mail: auzhanovam@bk.ru.

Нургазиев Рашит Есенгельдиевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан, 020000, ул. Абая 76, тел.: 87014898239, e-mail: nurrashit@mail.ru.

Бекимова Гульжиян Бегалиевна – PhD доктор, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан, 020000, ул. Абая 76, тел.: 87023160352, e-mail: bgbask@inbox.ru.*

Аширов Амир Русланович – магистрант, кафедра сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан, 020000, ул. Абая 76, тел.: 87784070965, e-mail: ashirov.bk@bk.ru.

Ауэанова Мария Асылхановна – ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы, 020000, Абай көш., 76, тел.: 87015425375, e-mail: auzhanovam@bk.ru.

Нургазиев Рашит Есенгельдиевич – ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы, 020000, Абай көш., 76, тел.: 87014898239, e-mail: nurrashit@mail.ru.

Бекимова Гульжиян Бегалиевна – PhD доктор, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы, 020000, Абай көш., 76, тел.: 87023160352, e-mail: bgbask@inbox.ru.*

Аширов Амир Русланович – магистрант, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасы, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы, 020000, Абай көш., 76, тел.: 87784070965, e-mail: ashirov.bk@bk.ru.

Auzhanova Mariya Assylkhanovna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan, 76 Abai Str., tel.: 87015425375, e-mail: auzhanovam@bk.ru.

Nurgaziyev Rashit Yessengeldiyevich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan, 76 Abai Str., tel.: 87014898239, e-mail: nurrashit@mail.ru.

Bekimova Gulzhiyan Begaliyevna – PhD, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan, 76 Abai Str., tel.: 87023160352, e-mail: bgbask@inbox.ru.*

Ashirov Amir Ruslanovich – Master's student, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Republic of Kazakhstan, 020000, 76 Abai Str., tel.: 87784070965, e-mail: ashirov.bk@bk.ru.

МРНТИ 68.31.21
УДК 631.671.1
https://doi.org/10.52269/SEPT2631185

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ РИСОВЫХ СИСТЕМ

Олжабаева А.О. – PhD по образовательной программе «Водное хозяйство и землеустройство», старший преподаватель, НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», г. Кызылорда, Республика Казахстан.*

Байманов Ж.Н. – кандидат технических наук, доцент, член-корреспондент НААН РК, заместитель Председателя Правления по научной работе, «Казахский научно-исследовательский институт рисоводства им. И. Жахаева», г. Кызылорда, Республика Казахстан.

Жусупова Л.К. – PhD по образовательной программе «Водное хозяйство и землеустройство», старший преподаватель, НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», г. Кызылорда, Республика Казахстан.

Алдамбергенова Г.Т. – магистр, старший преподаватель образовательной программы «Водное хозяйство и землеустройство», НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», г. Кызылорда, Республика Казахстан.

Длительное затопление рисовых чеков (более 60-80 дней) приводит к заболачиванию, оглению почвенного профиля и снижению общей пористости грунта минимум на 25-30%. В статье

рассматриваются проблемы мелиоративного состояния рисовых оросительных систем Кызылординской области. Цель исследования – научно обосновать оптимальные параметры уровня и минерализации грунтовых вод для предотвращения ирригационного засоления и эффективного восстановления плодородия почв. Полевые и лабораторные эксперименты проводились в 2022-2023 годах на Караултюбинском опытном участке площадью 16 гектаров. В ходе работы применялись стационарные уровнемерные наблюдения, систематический отбор гидрохимических проб и фенологический учет развития растений. Установлено, что в стартовый период затопления минерализация поровых вод пахотного слоя резко возрастает до 3,2-6,5 г/л. Это вызывает выраженное угнетение проростков, снижает густоту всходов до 80-120 растений на квадратный метр и приводит к среднему недобору урожая 1,6 т/га. Доказано, что понижение уровня грунтовых вод в межполивной период до 1,8-2,0 м за 20-25 суток обеспечивает нормализацию аэрации почвогрунтов и повышение урожайности риса до 4,0-5,0 т/га. Полученные результаты обосновывают необходимость нормирования гидромодуля первоначального затопления чеков и постепенного перехода к устройству систем закрытого горизонтального дренажа.

Ключевые слова: *рис, минерализация, дрены, дренажный сток, грунтовые воды.*

КҮРІШ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫ ДЕҢГЕЙІНІҢ ОРНАЛАСУ ТЕРЕҢДІГІНІҢ ТОПЫРАҚ ҚҰНАРЛЫЛЫҒЫН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУГЕ ӘСЕРІ

Олжабаева А.О. – «Сушаруашылығы және жерге орналастыру» ББББ PhD, аға оқытушысы, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы.*

Байманов Ж.Н. – т.ғ.к., доцент, Басқарма Төрағасының ғылыми жұмыс жөніндегі орынбасары, «Ы.Жахаев атындағы Қазақ күріш ғылыми−зерттеу институты», ҚР ҰАҒА корреспондент−мүшесі, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы.

Жусупова Л.К. − Су шаруашылығы және жерге орналастыру» ББББ PhD, аға оқытушысы, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы.

Алдамбергенова Г.Т. – магистр, «Су шаруашылығы және жерге орналастыру» ББББ-ның аға оқытушысы, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қызылорда қ., Қазақстан Республикасы.

Күріш атыздарын ұзақ уақыт су басу (60–80 күннен астам) батпақтануға, топырақ профилінің глейленуіне және жалпы кеуектіліктің кемінде 25–30%-ға төмендеуіне әкеп соқтырады. Мақалада Қызылорда облысының күріш суармалы жүйелерінің мелиорациялық жағдайы мәселелері қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – ирригациялық тұзданудың алдын алу және топырақ құнарлылығын тиімді қалпына келтіру үшін жер асты сулары деңгейі мен минералдануының оңтайлы параметрлерін ғылыми түрде негіздеу. Далалық және зертханалық эксперименттер 2022–2023 жылдары ауданы 16 гектарды құрайтын Қарауылтөбе тәжірибе учаскесінде жүргізілді. Жұмыс барысында стационарлық деңгейлік бақылаулар, гидрохимиялық сынамаларды жүйелі түрде алу және өсімдіктердің дамуын фенологиялық есепке алу әдістері қолданылды. Су басудың бастапқы кезеңінде жыртылатын қабаттағы тесікше суларының минералдануы 3,2–6,5 г/л-ге дейін күрт артатыны анықталды. Бұл көшеттердің бәсеңдеуін тудырады, өскін тығыздығын шаршы метрге 80–120 өсімдікке дейін азайтады және өнімділіктің орташа 1,6 т/га-ға төмендеуіне әкеледі. Суару аралық кезеңде жер асты суларының деңгейін 20–25 күн ішінде 1,8–2,0 м-ге дейін төмендету топырақтың аэрациясын қалыпқа келтіріп, күріш өнімділігін 4,0–5,0 т/га-ға дейін арттыратыны дәлелденді. Нәтижелер атыздарды бастапқы су басу гидромодулін нормалауды және жабық көлденең кәріз жүйелерін құруға біртіндеп өтуді негіздейді.

Түйінді сөздер: *күріш, тұздану, кәріз, кәрізағыны, жерастысулары.*

THE EFFECT OF GROUNDWATER TABLE DEPTH ON SOIL FERTILITY RESTORATION IN RICE SYSTEMS

Olzhabayeva A.O. – PhD, “Water Resources Management and Land Use Planning” educational program, Senior Lecturer, Korkyt Ata Kyzylorda University NLC, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan.*

Baimanov Zh.N. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of the National Academy of Agrarian Sciences of the Republic of Kazakhstan, Deputy Chairman of the Management Board for Research, I. Zhakhayev Kazakh Research Institute of Rice Cultivation, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan.

Zhussupova L.K. – PhD, “Water Resources Management and Land Use Planning” educational program, Senior Lecturer, Korkyt Ata Kyzylorda University NLC, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan.

Aldambergenova G.T. – Master, Senior Lecturer, “Water Resources Management and Land Use Planning” educational program, Korkyt Ata Kyzylorda University NLC, Kyzylorda, Republic of Kazakhstan.

Prolonged flooding of paddy fields exceeding 60–80 days triggers water-bogging, gleying of the soil profile, and a reduction in total soil porosity by at least 25–30%. The article addresses the challenges

associated with the reclamation state of rice irrigation systems in the Kyzylorda region. The study aims to scientifically substantiate the optimal parameters for groundwater table depth and mineralization to prevent irrigation-induced salinization and effectively restore soil fertility. Field and laboratory experiments were carried out in 2022–2023 at the Karaultobe experimental site covering an area of 16 hectares. The research methodology involved stationary water level monitoring, systematic hydrochemical sampling, and phenological observations of plant development. It was established that during the initial flooding phase, pore water salinity in the arable layer sharply increases to 3.2–6.5 g/L. This induces seedling suppression, reduces stand density to 80–120 plants per square meter, and results in an average yield drop of 1.6 t/ha. Lowering the groundwater level to 1.8–2.0 m within 20–25 days during the irrigation interval restores proper soil aeration and increases rice yield to 4.0–5.0 t/ha. These findings justify the need to regulate the initial irrigation modules and transition toward subsurface horizontal drainage construction.

Keywords: *rice, mineralization, drains, drainage runoff, groundwater.*

Введение. Основными факторами, определяющими формирование минерализации и химизма грунтовых вод, являются: исходный химизм источников, питающих грунтовые воды; свойства водовмещающих горизонтов и взаимодействие грунтовых вод с ними; условия теплового и в связи с этим газового режима воды; воздействие организмов; характер баланса грунтовых вод. Глубина залегания неглубоких грунтовых вод оказывает существенное влияние на физико-химические свойства почвы, а значит – на рост растений и их продуктивность. Глубина грунтовых вод влияет на доступность влаги для растений: при близком залегании воды увеличивается водообеспеченность, что может уменьшить потребность в поверхностном орошении и поддерживать оптимальную влажность корнеобитаемого слоя [1, с.62; 2, с.17; 3, с.86].

В местностях, где баланс грунтовых вод управляется в основном не стоком, а процессами испарения и транспирацией их растительностью вследствие недренированности местности и тяжелого гранулометрического состава водовмещающих пород, там процесс соленакопления в грунтовых водах получает резко выраженное направление в сторону значительного обогощения легкорастворимыми солями и образования высокоминерализованных грунтовых вод, а в ряде случаев – рассолов или соляной рапы. Растворы солей, приходящие с грунтовым потоком из областей питания тока, остаются в зоне испарения грунтовых вод, вызывая наиболее крайние формы соленакопления.

Баланс грунтовых вод, основным фактором регулирования которого является их испарение, характерен для периферических областей сухих речных пойм, расположенных в сухом климате. В условиях орошаемых оазисов этот баланс грунтовых вод может складываться на пустующих переложных землях. Со временем вследствие этого под пустующими переложными землями формируются высокоминерализованные грунтовые воды. Аналогичные условия складываются иногда вокруг массивов культуры риса в случае необеспеченности их водоотводом. Центральная часть поля риса является зоной опреснения грунтов и грунтовых вод за счет оросительных вод, а зоны прилегающие к полям на 200-300 м, оказываются областью испарения и соленакопления, в которой грунтовые воды постепенно повышают свою минерализацию за счет приходящих сюда растворов с рисовых участков [4, с.451; 5, с.48].

Фильтрационные воды из каналов рисовой сети, пополняя грунтовые воды, особенно при их слабой отточности, значительно поднимают уровень грунтовых вод, уменьшая тем самым фильтрацию с поверхности рисового поля, а порой и полностью прекращая ее.

Начало подъема грунтовых вод на рисовых системах совпадает с наполнением оросительных каналов. Поэтому для улучшения мелиоративного состояния земель, прилегающих к каналам, и снижения потерь оросительной воды необходимо проведение наних противофильтрационных мероприятий. Борьбу с потерями оросительной воды следует начинать с предупреждения фильтрации [6, с.26.].

По данным А.Н. Семененко, на рисовых системах основным источником питания грунтовых вод является фильтрация из картовых оросительных каналов.

Расход воды на фильтрацию с поверхности рисового поля, как известно, зависит от водопроницаемости почвогрунтов и однородности их литологического состава. В первые годы возделывания риса потери воды на фильтрацию с поверхности чека больше, чем в последующие. При выращивании риса водопроницаемость почв уменьшается за счет изменения их водно-физических свойств, а также за счет образования на некоторой глубине уплотненного горизонта.

Появление уплотненного горизонта обусловлено вмыванием илистых и коллодальных частиц почвы, а также молекулярными процессами, протекающими в нем. На биохимическую природу образования глеевого горизонта указывают К.В. Веригина, И.Д. Шарапов.

Дренаж на рисовых оросительных системах Казахстана выполнен в виде открытых каналов в земляном русле глубиной заглубления от 1,5 до 3,0 м. Первичная дрена глубиной 1,5 м, первичные дрены объединяются дреносборителем глубиной 2,0-2,5 м, дреносборители впадают в коллектора глубиной 3,0-3,5 м. Группа первичных дрен, дреносборителей и коллектора образуют коллекторно-дренажную сеть, мелорирующее действие которой по ряду специфических причин не везде удовлетворительное, причина заиление, обрушение откосов и зарастание сорной растительностью.

Потери воды на фильтрацию по площади рисовой карты распределяются неравномерно (рисунок 1).

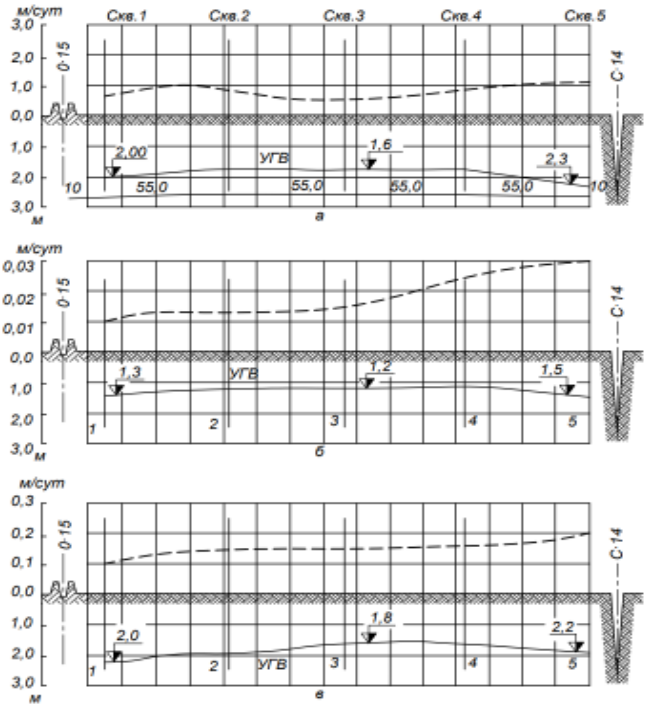


Рисунок 1 − Водопроницаемость почвы на рисовом поле в междренье
а) до затопления; б) чеки затоплены июнь, июль, август; в) после уборки риса (октябрь)

Водопроницаемость почвогрунтов в междренье на рисовом поле в период затопленных чеко (июнь-август) и после сброса воды во время уборки риса (сентябрь-октябрь) больше возле дренажно-сбросных каналов. Осутствие в средней части карты сколько-нибудь значительного перепада напоров воды между уровнем ее на поверхности чека и уровнем грунтовых вод дает основание предполагать, что фильтрация происходит главным образом в околодренном пространстве.

Водопроницаемость верхнего слоя почв на рисовом поле непостоянна и изменяется в зависимости от обработки почв и предшественника.

Однако в любом случае наибольшая водопроницаемость отмечена в зоне влияния дренажно-сбросных каналов и наименьшая – возле оросителя, за исключением тех случаев, когда рисовый участок с одной стороны имеет дренажно-сбросной канал, а с другой – совмещенный ороситель и сброс. При отсутсвии воды в совмещенном канале или при низких уровнях он работает как дрена.

В связи с малой водопроницаемостью солонцовых почв модуль дренажного стока небольшой – 0,15-0,4 л/с.

На рисовых системх, дренажные действия каналов уменьшаются также за счет больших пропусков сбросных вод с рисовых полей, в период орошения. Сброс слабоминерализованных вод (1,5-2,0 г/л) с рисовых полей в коллекторно- дренажную сеть происходит из-за отсутствия строгой дисциплины в водопользовании, надлежащего контроля за проведением поливов, все это приводит к уменьшению действующей глубины дренажной сети со всеми вытекающими из этого последствиями.

По данным исследований, индексируемых в базе Scopus, понижение уровня грунтовых вод в межполивной период способствует улучшению аэрационного режима почв, активизации окислительно-восстановительных процессов и снижению интенсивности соленакопления [7, с.3]. Установлено, что достижение определённой критической глубины залегания грунтовых вод создаёт благоприятные условия для восстановления структуры почвы и повышения биологической активности [8, с.10]. В работах зарубежных авторов подчёркивается, что именно глубина грунтовых вод во многом определяет скорость восстановления почвенного плодородия после длительного затопления [9, с.95;10, с.2].

Опыты показывают, что динамика уровня грунтовых вод находится в тесной зависимости от водного режима, водопроницаемости почвогрунтов и действия дренажно-коллекторной сети. Лишь в определенных гидрогеологических условиях, когда грунтовые расположены на глубине 15-20 м от поверхности, влияние дренажно-коллекторной сети исключено.

Цель исследования. Изучить влияние динамики уровня и минерализации грунтовых вод на водно-солевой режим почв и урожайность риса в условиях Кызылординской области для научного обоснования параметров работы дренажных систем.

Задачи исследования:

Для реализации намеченной цели требовалось выполнить следующий комплекс задач:

1. Оценить сезонную колебательность горизонта и гидрохимического состава подземных вод с установлением их воздействия на водно-солевые параметры пахотного слоя.

2. Раскрыть специфику и факторы формирования повторного (ирригационного) засоления почвенного горизонта на старте затопления чеков, а также его влияние на посевные показатели и динамику развития культуры.

3. Проанализировать пространственно-временную вариативность водопроницаемости и фильтрационных характеристик грунтов в междренной зоне на разных этапах вегетационного цикла.

4. Выявить четкую математическую зависимость между уровнем залегания грунтовых вод во вневегетационный период и итоговой продуктивностью риса.

5. Провести диагностику технического состояния и гидромелиоративной действенности действующей открытой коллекторно-дренажной инфраструктуры с формулированием предложений по её модернизации и переходу на закрытый дренаж.

Материалы и методы. Исследования проводились на рисовых чеках с использованием комплекса полевых, лабораторных и камеральных методов, обеспечивающих получение количественных и сопоставимых данных о режиме поверхностных и грунтовых вод, динамике водорастворимых солей и особенностях роста и развития риса.

Режим поверхностных вод на чеках и в элементах оросительно-дренажной сети изучался методом стационарных уровневых наблюдений. Для этого в оросительном и дренажно-сбросном каналах устанавливали водомерные рейки, закреплённые на постоянных реперах. Нули водомерных реек приводили к единой высотной системе посредством нивелирного хода и увязывали со средней плоскостью чеков и устьями скважин-пьезометров, что обеспечивало сопоставимость уровневых измерений.

Измерения уровней воды проводили визуальным способом по шкале водомерных реек с точностью до 1 см. Наблюдения осуществляли ежедневно три раза в сутки – в 7, 13 и 20 часов. В период первоначального затопления чеков, характеризующегося наибольшей изменчивостью водного режима, измерения выполняли через каждые 3 часа, что позволяло детально зафиксировать процесс заполнения чеков и выравнивания уровней воды.

Режим напорных вод изучали на основе периодических замеров уровней в эксплуатационных и наблюдательных скважинах. Учитывая инерционный характер изменения уровней напорных вод, замеры выполняли с меньшей периодичностью по сравнению с грунтовыми водами. Такой подход является методически обоснованным при исследовании водоносных горизонтов, залегающих на глубине более 50-60 м, где кратковременные колебания уровня выражены слабо.

Для оценки динамики водорастворимых солей применяли метод систематического отбора проб поверхностных и грунтовых вод. Пробы отбирали из оросительного и дренажно-сбросного каналов, а также из скважин-пьезометров в соответствии с установленной программой наблюдений. Отбор проб осуществляли не реже одного раза в месяц, а в период первоначального затопления чеков – ежедневно.

Определение минерализации проводили в лабораторных условиях общепринятыми методами (гравиметрическим или кондуктометрическим) в соответствии с действующими нормативными документами. Результаты анализов использовали для оценки пространственно-временной изменчивости солевого состава вод и его влияния на водно-солевой режим почв и развитие растений риса.

Фенологические и биометрические наблюдения за ростом и развитием риса проводили на стационарных фенологических площадках размером 2×2 м, размещённых вблизи скважин-пьезометров, что позволяло сопоставлять показатели развития растений с гидрологическими условиями.

В течение всей вегетации фиксировали основные фазы развития риса (всходы, кущение, выход в трубку, колошение, цветение и созревание). Прирост сырой и сухой биомассы определяли методом выборочных срезов растений с последующим взвешиванием, а динамику формирования корневой системы изучали методом выкопки растений с последующим анализом глубины и массы корней.

Полученные экспериментальные данные подвергали камеральной обработке с использованием графических и статистических методов. По результатам наблюдений строили временные ряды и графики колебаний уровней поверхностных и грунтовых вод, а также изменения минерализации вод в течение вегетационного периода. Анализ проводили с целью выявления закономерностей взаимодействия водного режима, солевого состава вод и роста и развития риса.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследования проведены в 2022-2023 гг. в Караултюбинском опытном участке. Опытная карта имеет площадь 16 га и расположена в средней части поля севооборота. Глубина картового сбросного канала 1,1-1,2 м, коллектора дренажно-сбросной сети, проходящего в торце карты – 1,8 м. Мощность покровных тяжелосуглинистых отложений по площади карты неодинакова и изменяется от 0,4 до 1,2м. Ниже залегают более проницаемые грунты – пески и супеси.

С начала сева и в течение всего вегетационного периода воздушный и водно-солевой режимы почв, зависящие от режима грунтовых вод, должны быть устойчиво благоприятны для растений. Поскольку режим грунтовых вод изменяется по годам, может оказаться необходимым ежегодно корректировать размещение сельскохозяйственных культур.

К началу сева глубина залегания грунтовых вод должна позволять механизированную обработку почв. На легких грунтах (по А.Н. Костякову) уровень грунтовых вод должен быть ниже поверхности на 1,4 м, на тяжелых – 1,8 м.

В результате проведенных опытов на Караултюбинском опытном участке получены следующие данные, характеризующие зависимость величины урожайности риса от уровня грунтовых вод во вневегетационный период.

Таблица 1 – Зависимость урожайности риса от уровня залегания грунтовых вод

Глубина залегания УГВ,м	Урожайность, т/га
1,0	2-3
1,5	3-4
2,0	4-5
2,5	4-5

Установлено, что на территориях, где уровень сильно минерализованных грунтовых вод располагается близко к поверхности, процессы удаления солей из почвенного профиля протекают крайне замедленно. Вследствие этого урожайность риса на таких участках устойчиво уступает показателям незасоленных земель на 1,5-2,5 т/га.

В период подготовки к посеву риса в 2022 году глубина залегания грунтовых вод в межполивное время составляла порядка 1,25-1,5 м, при этом их минерализация находилась в диапазоне 3,6-5,8 г/л. Так как уровень грунтовых вод был ниже отметки дна картового водосброса, образование депрессионной воронки в поперечных профилях не фиксировалось. Расход воды при начальном затоплении чеков составлял 6-8 л/с на каждый гектар площади. Почвенный покров исследуемых участков был сформирован преимущественно суглинистыми и глинистыми почвами. В пределах почвенного профиля до глубины 1,32 м доминировали тяжёлые по гранулометрическому составу суглинки и глины. Водоносный пласт сложен мелкозернистыми песками и располагается глубже 2,5 м от поверхности. Содержание гумуса в пахотном слое варьировало в пределах 0,81-1,51%. Водопроницаемость почв характеризовалась коэффициентом фильтрации 0,3-0,5 м/сут.

В весенний период, предшествующий посеву риса, концентрация солей в поверхностном горизонте почвы (0-20 см) на опытных участках была низкой и составляла 0,27-0,29%. По мере углубления почвенного профиля отмечалось умеренное увеличение солесодержания, достигающее на глубине 1 м значений 0,35-0,48%. По химическому составу засоление относилось преимущественно к сульфатно-хлоридному типу. Ионы данных соединений характеризуются высокой миграционной способностью, незначительным участием в процессах ионного обмена и слабой адсорбцией почвенными частицами, а также устойчивостью к биологическому воздействию. В результате при совместном перемещении с грунтовыми водами они практически не фиксируются в почвенной толще.

Лабораторные исследования почвенных образцов показали, что после затопления рисовых чеков солесодержание в верхнем слое почвы возрастало до уровней, оказывающих токсичное влияние на растения (0,43-0,62%). В дальнейшем наблюдалось постепенное снижение концентрации солей, и к осеннему периоду их значения практически возвращались к исходным – 0,27-0,29%.

Результаты фенологических и биометрических наблюдений подтвердили негативное влияние этого стартового засоления на развитие культуры. На участках с высоким залеганием минерализованных ГВ (1,0-1,25 м) отмечалось угнетение проростков: густота всходов снижалась до 80-120 растений на 1 м² (при норме 7-8 млн всхожих семян на гектар). Наступление фазы кущения задерживалось на 5-7 дней по сравнению с оптимальными условиями. При глубине залегания УГВ 1,8-2,0 м формирование биомассы протекало интенсивно: сырая масса растений к фазе колошения достигала 180-210 г на 1 м², а глубина проникновения корневой системы составляла 22-25 см. На участках с высоким стоянием ГВ развитие корневой системы сдерживалось горизонтом оглеения и не превышало 12-14 см, что приводило к снижению продуктивной кустистости.

Выявленный тип временного вторичного засоления был классифицирован как ирригационный, поскольку его проявление носит периодический характер и связано с режимом орошения. Механизм формирования данного процесса представлен на схематическом изображении (рисунок 2).

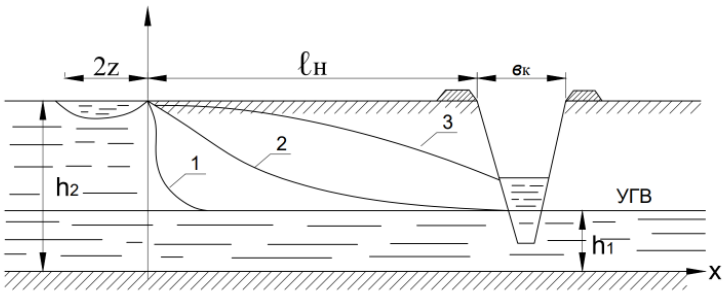


Рисунок 2 − Схема неустановившейся фильтрации из микропонижений в грунтовые воды

С началом подачи воды в оросительную сеть, ещё до фактического затопления рисовых чеков, в зоне, прилегающей к распределителю, был зафиксирован активный подъём уровня грунтовых вод, средняя скорость которого достигала около 0,4 м в сутки. Наблюдения показали, что после поступления воды в ороситель затопление поверхности чеков начинается с заполнения локальных понижений

микрорельефа. В начальный период процесс протекает наиболее интенсивно: в течение первых 16-20 часов под водой оказывается свыше 25% общей площади. В этот момент поверхность чеков представляет собой относительно ровную плоскость с неравномерно расположенными углублениями, через которые осуществляется инфильтрационное питание грунтовых вод.

В дальнейшем скорость распространения воды по поверхности снижается. При этом динамика уровня грунтовых вод имеет противоположный характер: в первые 10-12 часов их подъём происходит замедленно, после чего интенсивность возрастает. В результате выход грунтовых вод к поверхности и полное затопление чеков происходят практически синхронно, что подтверждается данными наблюдений, приведёнными в таблице 1.

Таблица 2 − Динамика поверхностного затопления рисовых чеков (числитель) и изменения уровня грунтовых вод (знаменатель), выраженная в процентах от общей площади чека и первоначальной глубины залегания грунтовых вод соответственно

Чек 1	Время от начала подачи воды, ч							
	3	9	15	21	27	33	48	60
	4 - 00	11 - 10	20 - 42	82 - 90	82 - 90	100 - 100	- -	- -

Повышение уровня высокоминерализованных грунтовых вод в начале оросительного сезона приводит к резкому возрастанию содержания легкорастворимых солей в поровом пространстве пахотного слоя почвы, что отрицательно отражается на формировании урожая риса.

Данное явление подтверждается результатами наблюдений за изменением минерализации поровых вод, полученными при анализе проб из наблюдательной скважины с глубиной заложения 0,35 м. В стартовый период орошения зафиксированы максимальные значения минерализации, достигающие 3,2-6,5 г/л. По мере установления сплошного водного слоя на поверхности чеков и стабилизации фильтрационного режима концентрация солей в верхнем горизонте грунтовых вод постепенно снижается и составляет 1,0-2,3 г/л.

Несмотря на последующее улучшение гидрохимических условий, воздействие повышенной солёности на проростки и молодые растения в начальной фазе вегетации носит необратимый характер. Потери, понесённые на этом этапе, не компенсируются даже при благоприятных условиях дальнейшего роста.

Снижение минерализации грунтовых вод объясняется перераспределением солей: часть их поступает в слой затопления, а часть удаляется за пределы чеков с фильтрационным потоком через дренажно-сбросную сеть.

Средний недобор урожайности риса, обусловленный ирригационным засолением почв, достигает 1,6 т/га. Для минимизации этого негативного эффекта необходимо обеспечить такое соотношение процессов, при котором скорость поверхностного затопления превышает темпы подъёма грунтовых вод. В этом случае поровое пространство верхнего слоя почвы заполняется оросительной водой, а не солёными грунтовыми водами. Реализация данного условия возможна за счёт обоснованного выбора гидромодуля первоначального затопления.

Выводы. Установлена прямая зависимость урожайности риса от глубины залегания грунтовых вод во вневегетационный период. При высоком стоянии УГВ (1,0-1,5 м) урожайность составляет всего 2,0-4,0 т/га из-за заторможенного вымывания солей и развития оглеения. Понижение УГВ до глубины 1,8-2,0 м за 20-25 дней после предуборочного сброса обеспечивает нормализацию аэрации почвогрунтов и позволяет стабильно получать 4,0-5,0 т/га зерна.

Раскрыт механизм ирригационного засоления почв в стартовый период затопления чеков: из-за выпирания высокоминерализованных грунтовых вод (3,2-6,5 г/л) в пахотном слое концентрация солей возрастает до токсичных 0,43-0,62%. Это приводит к угнетению проростков, снижению густоты всходов до 80-120 шт./м², сокращению длины корневой системы до 12-14 см и недобору урожайности до 1,6 т/га.

Доказано, что открытая коллекторно-дренажная сеть не обеспечивает устойчивого осушения из-за заиливания, зарастания и подпора сбросными водами. Для обеспечения глубокого межполивного понижения УГВ (до 2,0 м) и устранения ирригационного засоления необходимы нормирование гидромодуля первоначального затопления (чтобы скорость затопления поверхности опережала подъем ГВ) и постепенный перевод рисовых систем на закрытый горизонтальный дренаж.

Финансирование. Исследование не имело целевого внешнего финансирования.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Джамантинов, Х. Внедрение технологий устойчивого производства риса в условиях вторичного засоления почв Приаралья** [Текст] / Х. Джамантинов // Рисоводство. – Краснодар. – 2008. – № 12. – С. 65–68.

2. **Егоров, В.В. Особенности работы горизонтального рассолительного дренажа** [Текст] **/ В.В. Егоров // Гидротехника и мелиорация**. – М. – 1965. – № 12. – С. 17–22.

3. **Рау, А.Г. Водораспределение на рисовых системах** [Текст] / А.Г. Рау. – М.: Агропромиздат, 1988. – 86 с.

4. **Султанбекова, П.А., Дуанбекова, Г.Т., Шекарбань, К. Использование коллекторно дренажных вод для повышения водообеспеченности Мирзачульского орошаемого массива** [Текст] / П.А. Султанбекова, Г.Т. Дуанбекова, К. Шекарбань // *Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты.* – Алматы. – 2025. – № 2 (106). – С. 452–463. – DOI: 10.37884/2-2025/45.

5. **Тулякова, З.Ф. Мелиорирующая роль дренажно-сбросных каналов в условиях засоленных почв.** Часть I [Текст] / З.Ф. Тулякова. – М.: Колос, 1971. – С. 48–50.

6. **Тулякова, З.Ф. Рис на засоленных землях** [Текст] / З.Ф. Тулякова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1978. – С. 25–28.

7. **Guo, Y., Zhang, Y., Liu, X., et al. Spatial and temporal variations in soil salinity andgroundwater in the downstream Yarkant River irrigation district** // *Water.* – 2025. – Vol. 18, No. 1. – Article 11. – DOI: 10.3390/w18010011.

8. **Peng, B., Dong, R., He, Y., Liu, Y., Zhao, Y. Influence of groundwater depth on soil ion distribution in the agricultural irrigation areas of Northwest China** // *Agriculture.* – 2025. – Vol. 15, No. 7. – Article 747. – DOI: 10.3390/agriculture15070747.

9. **Sun, G., Zhai, M., Wang, C., et al. Root zone and deep soil salinity dynamics and suitable groundwater depth for salt control in the Hetao Irrigation District** // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 2024. – Vol. 40, No. 21. – P. 91–100. – DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.202404071.

10. **Sun, G., Zhai, M., Wang, C., et al. Spatial characteristics and critical groundwater depth of soil salinization in arid artesian irrigation area of northwest China** // *Agricultural Water Management. –* 2025. – Vol. 307. – Article 109196. – DOI: 10.1016/j.agwat.2024.109196.

REFERENCES:

1. **Dzhamantinov Kh. Vnedrenie tehnologij ustojchivogo proizvodstva risa v usloviyah vtorichnogo zasoleniya pochv Priaral'ya** [Implementation of technologies for sustainable rice production under secondary soil salinization in the Aral Sea region]. *Risovodstvo*, 2008, no. 12, pp. 65-68. (In Russian)

2. **Egorov V.V. Osobennosti raboty' gorizontal'nogo rassolitel'nogo drenazha** [Features of operation of horizontal desalinization drainage]. *Gidrotehnika i melioraciya*, 1965, no. 12, pp. 17-22. (In Russian)

3. **Rau A.G. Vodoraspredelenie na risovy'h sistemah** [Water distribution on rice systems]. Moscow, Agropromizdat, 1988, 86 p. (In Russian)

4. **Sultanbekova P.A., Duanbekova G.T., Shekarban K. Use of collector-drainage water to increase water availability in the Mirzachul irrigated massif**. *Izdenister, natizheler – Izsledovaniya, rezul'taty',* 2025, no. 2 (106), pp. 452-463. DOI: 10.37884/2-2025/45. (In Russian)

5. **Tulyakova Z.F. Melioriruyushhaya rol' drenazhno-sbrosny'h kanalov v usloviyah zasolenny'h pochv. Chast' I** [The ameliorative role of drainage and escape canals in saline soil conditions. Part I]. Moscow, Kolos, 1971, pp. 48-50. (In Russian)

6. **Tulyakova Z.F. Ris na zasolenny'h zemlyah** [Rice on saline lands]. 2nd ed., Moscow, Kolos, 1978, pp. 25-28. (In Russian)

7. **Guo Y., Zhang Y., Liu X., et al. Spatial and temporal variations in soil salinity and groundwater in the downstream Yarkant River irrigation district**. *Water,* 2025, vol. 18, no. 1, art. 11. DOI: 10.3390/w18010011.

8. **Peng B., Dong R., He Y., Liu Y., Zhao Y. Influence of groundwater depth on soil ion distribution in the agricultural irrigation areas of Northwest China**. *Agriculture, 2025,* vol. 15, no. 7, art. 747. DOI: 10.3390/agriculture15070747.

9. **Sun G., Zhai M., Wang C., et al. Root zone and deep soil salinity dynamics and suitable groundwater depth for salt control in the Hetao Irrigation District.** *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,* 2024, vol. 40, no. 21, pp. 91-100. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.202404071.

10. **Sun G., Zhai M., Wang C., et al. Spatial characteristics and critical groundwater depth of soil salinization in arid artesian irrigation area of northwest China**. *Agricultural Water Management,* 2025, vol. 307, art. 109196. DOI: 10.1016/j.agwat.2024.109196.

Дата поступления: 07 апреля 2026 г. **Принято:** 24 июня 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Олжабаева Аксауле Ондасиновна – PhD по образовательной программе «Водное хозяйство и землеустройство», старший преподаватель., НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Республика Казахстан, 120014, г. Кызылорда, Левый берег, 16/28, тел.: 87075801624, e-mail: Seul379@mail.ru.*

Байманов Жанузак Нурдилдаевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель Председателя Правления по научной работе «Казахский научно-исследовательский институт рисовод-

ства им. И. Жахаева», член-корреспондент НААН РК, Республика Казахстан, 120014, г. Кызылорда, проспект Абая 25б, тел.: 87017363283, e-mail:_b.zhanuzak63@gmail.com.

Жусупова Лиза Куанышовна – PhD по образовательной программе «Водное хозяйство и землеустройство», старший преподаватель, НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», Республика Казахстан, 120014, г. Кызылорда, ул. Есим Хан, 23В/17, тел.: 87002328464, e-mail: Liza_zk@mail.ru.

Алдамбергенова Гульзинат Темирхановна – магистр, старший преподаватель образовательной программы «Водное хояйство и землеустройство», НАО «Кызылординский университет имени Коркыт Ата», Республика Казахстан, 120014, г. Кызылорда, ул. Айтекеби, 29а, тел.: 87753966162, e-mail: gulzi_31@mail.ru.

Олжабаева Аксауле Ондасиновна – «Су шаруашылығы және жерге орналастыру» ББББ PhD, аға оқытушысы, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 120014, Қызылорда қ, Сол жағалау 16/28, тел.: 87075801624, e-mail: Seul379@mail.ru.*

Байманов Жанузак Нурдилдаевич − т.ғ.к., доцент, Басқарма Төрағасының ғылыми жұмыс жөніндегі орынбасары, Ы.Жахаев атындағы Қазақ күріш ғылыми-зерттеу институты, ҚР ҰАҒА корреспондент−мүшесі , Қазақстан Республикасы, 120014, Қызылорда қ, Абай даңғ 25б, тел.: 87017363283, e-mail: b.zhanuzak63@gmail.com.

Жусупова Лиза Куанышовна − Су шаруашылығы және жерге орналастыру» ББББ PhD, аға оқытушысы, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы Қызылорда қ, Есим Хан 23В/17, тел.: 87002328464, Liza_zk@mail.ru.

Алдамбергенова Гүлзинат Темірханқызы – магистр, «Су шаруашылығы және жерге орналастыру» ББББ-ның аға оқытушысы, «Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 120014, Қызылорда қ., Әйтеке би көш, 29А., тел.: 8 7753966162, e-mail: gulzi_31@mail.ru.

Olzhabayeva Aksaule Ondassynovna − PhD, "Water Resources Management and Land Use Planning" educational program, Senior Lecturer, Korkyt Ata Kyzylorda University NLC, Republic of Kazakhstan, 120014, Kyzylorda, 16/28 Levyi Bereg, tel.: 8707580 1624, e-mail: Seul379@mail.ru.*

Baimanov Zhanuzak Nurdildayevich − Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Chairman of the Management Board for Research, I.Zhakhayev Kazakh Research Institute of Rice Cultivation, Corresponding Member of the National Academy of Agrarian Sciences of the Republic of Kazakhstan, Republic of Kazakhstan, 120014, Kyzylorda, 25b Abai Ave., tel.: 87017363283, e-mail: b.zhanuzak63@gmail.com.

Zhussupova Liza Kuanyshovna – PhD, "Water Resources Management and Land Use Planning" educational program, Senior Lecturer, Korkyt Ata Kyzylorda University NLC, Republic of Kazakhstan, 120014, Kyzylorda, 23B/17 Yessim Khan Str., tel.: 87002328464, e-mail: Liza_zk@mail.ru.

Aldambergenova Gulzinat Temirkhanovna – Master, Senior Lecturer, "Water Resources Management and Land Use Planning" educational program, Korkyt Ata Kyzylorda University NLC, Republic of Kazakhstan, 120014, Kyzylorda, 29a Aiteke bi Str., tel.: 87753966162, e-mail: gulzi_31@mail.ru.

МРНТИ 38.61.05: 38.61.27
УДК 004.42,556.3.04
https://doi.org/10.52269/SEPT2631193

КАРТИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИЛИЙСКОГО РАЙОНА АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

Оңласынов Ж.Ә. – PhD, заведующий лабораторией ГИС-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University», г. Алматы, Республика Казахстан.*

Абсаметов М.К. – доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, «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.

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 настоящем исследовании применяется интегрированный подход, основанный на совместном использовании данных дистанционного зондирования и методов машинного обучения для прогнозирования пространственного распределения потенциальных зон подземных вод. В качестве основного алгоритма классификации выбран метод «случайного леса» (Random Forest), который относится к методам обучения с учителем и демонстрирует высокую устойчивость к шуму входных данных.

Общая схема исследования включает четыре основных этапа: формирование входных пространственных переменных; подготовка обучающей выборки; обучение и настройка модели Random Forest; валидация и оценка точности результатов. В качестве входных переменных использованы спектральные индексы: NDVI, NDWI; морфометрические параметры: уклон (Slope), высота (DEM); гидрологический фактор: расстояние до водных объектов – Эвклидово расстояние (Distance to Rivers). В качестве обучающих данных: точки водозаборных сооружений по Илийскому району Алматинской области.

Для моделирования потенциала подземных вод был использован алгоритм Random Forest, реализованный в среде Python с использованием библиотеки Scikit-learn. В качестве предикторов использовались спутниковые и геоморфометрические данные, которые были обработаны в ПО ArcGIS. Все переменные были приведены к единому пространственному разрешению и системе координат. Для обеспечения сопоставимости данных выполнена нормализация значений, что позволило снизить влияние различий в диапазонах признаков на процесс обучения модели. Обученная модель была применена ко всей исследуемой территории с использованием метода наложения растровых изображений, в результате чего была получена пространственно непрерывная карта потенциала грунтовых вод, классифицированная на зоны низкого, среднего и высокого потенциала.

Ключевые слова: *машинное обучение, Random Forest, дистанционное зондирование, сельское хозяйство, подземные воды*.

СПУТНИКТІК ДЕРЕКТЕР МЕН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМІН ПАЙДАЛАНЫП ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ӘЛЕУЕТІН КАРТАҒА ТҮСІРУ: ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН, АЛМАТЫ ОБЛЫСЫ, ІЛЕ 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.*

Абсаметов М.К. – геология-минералогия ғылымдарының докторы, профессор, «Ұ.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының директоры, Сәтбаев университеті», Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Мұртазин Е.Ж. – геология-минералогия ғылымдарының кандидаты директорының ғылым жөніндегі орынбасары, «Ұ.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Satbayev University», Алматы қ., 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 зерттеу жер асты суларының ықтимал аймақтарының кеңістіктік таралуын болжау үшін қашықтықтан зондтау деректері мен машиналық оқыту әдістерін біріктіріп пайдалануға негізделген интеграцияланған тәсілді қолданады. Негізгі жіктеу алгоритмі ретінде кіріс деректерінің шуылына жоғары беріктік көрсететін бақыланатын оқыту әдісі болып табылатын Random Forest таңдалды.

Жалпы зерттеу дизайны төрт негізгі кезеңнен тұрады: кіріс кеңістіктік айнымалыларын генерациялау; оқыту жиынтығын дайындау; Random Forest моделін оқыту және баптау; және нәтижелердің дәлдігін тексеру және бағалау. Кіріс айнымалыларына спектрлік индекстер (NDVI, NDWI); морфометриялық параметрлер (көлбеу, DEM); және гидрологиялық фактор (өзендерге дейінгі қашықтық) кірді. Оқыту деректеріне Алматы облысының Іле ауданындағы су алу нысандарының орналасуы кірді.

Жер асты суларының әлеуетін модельдеу үшін Scikit-learn кітапханасын пайдаланып Python тілінде Random Forest алгоритмі енгізілді. Спутниктік және геоморфометриялық деректер болжаушылар ретінде пайдаланылды және ArcGIS бағдарламалық жасақтамасында өңделді. Барлық айнымалылар жалпы кеңістіктік ажыратымдылық пен координат жүйесіне түрлендірілді. Деректердің салыстырмалылығын қамтамасыз ету үшін мәндер қалыпқа келтірілді, бұл модельді оқыту процесіне ерекшелік диапазонындағы айырмашылықтардың әсерін азайтты. Дайындалған модель растрлық қабаттасу арқылы бүкіл зерттеу аймағына қолданылды, нәтижесінде төмен, орташа және жоғары әлеуетті аймақтарға жіктелген кеңістіктік үздіксіз жер асты суларының әлеуетті картасы жасалды.

Түйінді сөздер: *машиналық оқыту, Random Forest, қашықтықтан зондтау, ауыл шаруашылығы, жер асты сулары.*

MAPPING GROUNDWATER POTENTIAL USING SATELLITE DATA AND A MACHINE LEARNING ALGORITHM: A CASE STUDY OF THE ILI DISTRICT OF ALMATY REGION, SOUTH KAZAKHSTAN

Onlassynov Zh.A. – PhD, Head of the Laboratory of GIS technologies and earth remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geosciense, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.*

Absametov M.K. – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Director of the Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geosciense, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Murtazin Ye.Zh. – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director for Science, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geosciense, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

Muratova M.M. – Leading engineer, Laboratory of GIS technologies and earth remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geosciense, Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan.

This study utilizes an integrated approach based on the combined use of remote sensing data and machine learning methods to predict the spatial distribution of potential groundwater zones. Random Forest, a supervised learning method that demonstrates high robustness to input data noise, was selected as the primary classification algorithm.

The overall study design includes four main stages: generating input spatial variables; preparing a training set; training and tuning the Random Forest model; and validating and assessing the accuracy of the results. The input variables included spectral indices (NDVI, NDWI); morphometric parameters (Slope, DEM); and hydrological factor (Distance to Rivers). The training data included water intake facility locations in the Ili district of the Almaty region.

To model groundwater potential, the Random Forest algorithm was implemented in Python using the Scikit-learn library. Satellite and geomorphometric data were used as predictors and processed in ArcGIS software. All variables were converted to a common spatial resolution and coordinate system. To ensure data comparability, values were normalized, reducing the impact of differences in feature ranges on the model training process. The trained model was applied to the entire study area using raster overlay, resulting in a spatially continuous groundwater potential map classified into low, medium, and high potential zones.

Key words: *machine learning, Random Forest, remote sensing, agriculture, groundwater.*

Введение. Недавние исследования продемонстрировали эффективность интеграции мультиспектральных данных Sentinel-2 с алгоритмами машинного обучения, такими как Random Forest, для картирования потенциала грунтовых вод и гидрологического анализа. По этой теме можно отметить работу ученых из Египта и Саудовской Аравии. В своем исследовании вместо категориальных данных использовались растровые спутниковые данные и модель машинного обучения «Random Forest» для выявления зон потенциального залегания подземных вод в низовьях Вади-Ялмлам, на западе Саудовской Аравии [1, с. 2772].

Индийские специалисты оценили 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 линеаментов, землепользование и растительный покров, общие типы почв, геология, геоморфология, топографический индекс положения (TPI), топографический индекс влажности (TWI)). Для идентификации потенциальных зон подземных вод были применены три алгоритма машинного обучения (искусственная нейронная сеть (ANN), логистическое дерево моделей (LMT) и логистическая регрессия (LR)) [2, с. 10328].

Цель работы исследований индонезийских ученых – изучить потенциал подземных вод в Западной Яве, Индонезия, с использованием методов машинного обучения с учителем, а именно Random Forest, машины опорных векторов (SVM) и искусственной нейронной сети (ANN). В исследовании использовались различные факторы, влияющие на состояние подземных вод, такие как топографический индекс влажности (TWI), нормализованный разностный индекс растительности (NDVI), литология, геоморфология, землепользование и растительный покров (LULC), тип почвы и система землепользования [3, с. 101382].

Китайские специалисты использовали в работах временные ряды с высоким пространственно-временным разрешением для мониторинга роста сельскохозяйственных культур и управления водными ресурсами, способствуя дальнейшему расширению применения спутникового дистанционного зондирования в точном земледелии [4, с. 113].

Немецкие исследователи путем интеграции временно и пространственно выровненной радиолокационной информации из данных Sentinel-1 с существующими многоспектральными данными Sentinel-2 создали новый многоисточниковый и многовременной набор данных. Оценка точности проводилась с использованием пространственно независимых выборок. [5, с. 21].

Африканские исследователи в своей статье изучают различные методы проверки таких заявлений на уровне отдельных участков с использованием нормализованного разностного индекса растительности (NDVI) и нормализованного разностного индекса воды (NDWI) на изображениях Sentinel-2A, дерева классификации и регрессии (CART) на изображениях Sentinel-1 SAR [6, с. 6095].

Иранские ученые для различения типов землепользования и растительного покрова (LULC) использовали две модели машинного обучения, а также спектральные диапазоны и индексы Sentinel-2 [7, с. 5580].

В качестве территории исследования выбран Илийский район Алматинской области, что обусловлено рядом природных, гидрологических и антропогенных факторов, определяющих его высокую науч-

ную значимость для изучения подземных вод с применением данных дистанционного зондирования и методов машинного обучения.

Во-первых, район характеризуется аридными и полуаридными природно-климатическими условиями. Около 80% территории представлено пустынными и пустынно-степными ландшафтами, включая песчаные массивы (Сартаукум, Караой), что обуславливает дефицит поверхностных водных ресурсов и повышенную зависимость экосистем и хозяйственной деятельности от подземных вод.

Во-вторых, климат района является резко континентальным, с жарким летом и ограниченным количеством осадков, что усиливает процессы испарения и формирует условия водного дефицита. В таких условиях подземные воды играют ключевую роль в поддержании растительности и сельского хозяйства, что делает район особенно подходящим для анализа по спутниковым индексам (NDVI, NDWI).

В-третьих, Илийский район обладает развитой гидрографической сетью, включающей реку Или, а также ряд малых рек, водохранилищ и озёр (включая Капчагайское водохранилище и озеро Сорбулак). Такое сочетание водных объектов создаёт выраженный контраст между увлажнёнными и засушливыми территориями, что является важным условием для обучения моделей машинного обучения и повышения точности прогнозирования.

Дополнительным фактором является интенсивная хозяйственная деятельность, включая орошаемое земледелие. Использование водных ресурсов для сельского хозяйства усиливает нагрузку на водоносные горизонты и способствует формированию пространственной неоднородности распределения подземных вод, что представляет интерес для анализа и моделирования.

Кроме того, район расположен вблизи крупного урбанизированного центра – города Алматы, что обуславливает рост антропогенного воздействия на водные ресурсы, включая водозабор и изменение естественного гидрологического режима.

Все перечисленные показатели делают Илийский район репрезентативной и научно обоснованной территорией для прогнозирования зон подземных вод с использованием интеграции данных дистанционного зондирования и методов машинного обучения. Дополнительную научную значимость району придаёт интенсивная хозяйственная деятельность, прежде всего орошаемое земледелие. Антропогенное воздействие приводит к перераспределению водных ресурсов, изменению режима инфильтрации и формированию локальных зон разгрузки и аккумуляции подземных вод. Это создаёт сложную пространственную структуру факторов, что является благоприятным условием для применения алгоритмов машинного обучения, способных учитывать нелинейные взаимосвязи между переменными.

Цель. Применение интегрированного подхода, основанного на совместном использовании данных дистанционного зондирования и методов машинного обучения для прогнозирования пространственного распределения потенциальных зон подземных вод Илийского района Алматинской области.

Задачи: подготовка геопространственных наборов данных; извлечение растровых значений в зоне исследования; обучение и валидация модели Random Forest, пространственное прогнозирование и создание карты потенциала подземных вод; анализ значимости переменных.

Материалы и методы. Для вычисления факторов, влияющих на подземные воды, использованы изображения спутниковой миссии Sentinel-2, реализуемой European Space Agency в рамках программы Copernicus. Данные Sentinel-2 обеспечивают получение многоспектральных изображений с высоким пространственным и временным разрешением, что делает их оптимальными для задач гидрологического и экологического мониторинга. В работе были использованы архивные снимки изображения уровня обработки Level-2A (Surface Reflectance), прошедшие атмосферную коррекцию, общим объемом 9,07 Гб, а также цифровая модель рельефа (ЦМР) с разрешением 30 метров. Снимки находятся в открытом и свободном доступе для любого зарегистрированного пользователя (таблица 1).

Таблица 1 – Список сцен снимков Sentinel-2

№	Identifier	Clode, %
1	S2A_MSIL1C_20250506T055251_N0511_R048_T43TEJ_20250506T064443.SAFE	3
2	S2A_MSIL1C_20250506T055251_N0511_R048_T43TEK_20250506T064443.SAFE	1
3	S2A_MSIL1C_20250506T055251_N0511_R048_T43TFJ_20250506T064443.SAFE	0
4	S2A_MSIL1C_20250506T055251_N0511_R048_T43TFK_20250506T064443.SAFE	12
5	S2C_MSIL1C_20250723T054701_N0511_R048_T43TEJ_20250723T073948.SAFE	7
6	S2C_MSIL1C_20250723T054701_N0511_R048_T43TEK_20250723T073948.SAFE	18
7	S2A_MSIL1C_20250725T055301_N0511_R048_T43TFJ_20250725T064855.SAFE	23
8	S2A_MSIL1C_20250725T055301_N0511_R048_T43TFK_20250725T064855.SAFE	3
9	S2B_MSIL1C_20250906T054639_N0511_R048_T43TEK_20250906T072947.SAFE	5
10	S2C_MSIL1C_20250921T054651_N0511_R048_T43TEJ_20250921T074452.SAFE	8
11	S2C_MSIL1C_20250921T054651_N0511_R048_T43TFJ_20250921T074452.SAFE	0
12	S2C_MSIL1C_20250921T054651_N0511_R048_T43TFK_20250921T074452.SAFE	0

Предварительно, для подготовки данных к работе, все снимки были приведены в единую координатную систему: Datum WGS_1984, UTM_zone_43N. Для создания полного, бесшовного и единого мозаичного

покрытия исследуемой территории, были использованы по 4 тайла снимков весеннего, летнего, осеннего сезонов, проведено цветовое уравнивание для минимизации различий между снимками, а также автоматическое определение «линии сшивки». Эти моменты создали однородные радиометрические условия на всей исследуемой территории. Временной охват данных сформирован с учётом сезонной динамики и включает сцены, соответствующие различным фазам вегетационного периода, что позволяет учитывать изменения гидротермических условий и их влияние на индикаторы, связанные с подземными водами.

Для оценки состояния растительного покрова использован нормализованный разностный вегетационный индекс – NDVI (таблица 2). Данный индекс является одним из наиболее широко применяемых показателей в дистанционном зондировании и используется для анализа биомассы, продуктивности и водообеспеченности растительности (рисунок 1).

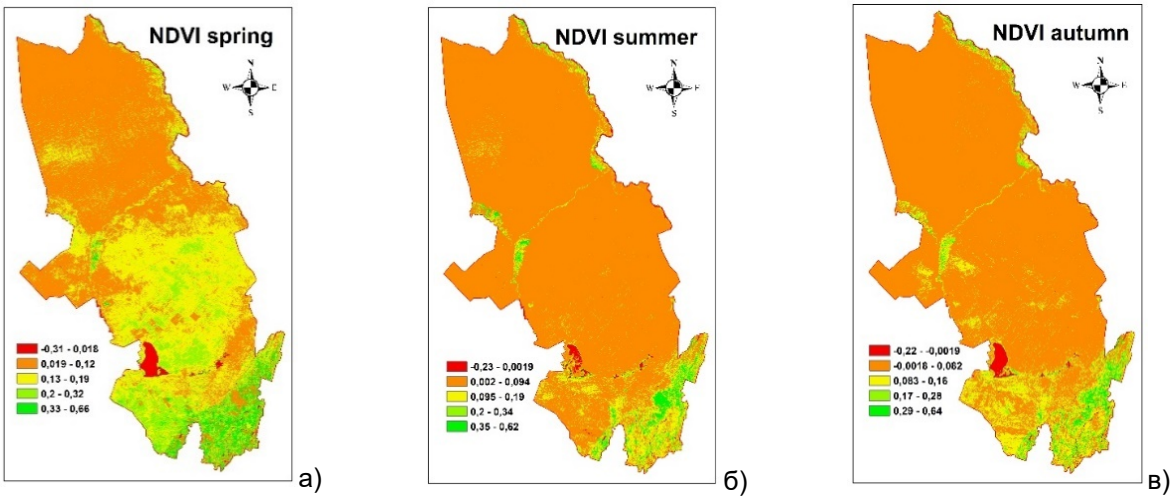
NDVI рассчитывается по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

где: *NIR* – отражательная способность в ближнем инфракрасном диапазоне, *RED* – отражательная способность в красном диапазоне

Таблица 2 – Использованные данные Sentinel-2

Sentinel-2 Bands	CentralWavelength (μm)	Resolution (m)	Shooting mode
Band 4 – RED	0,665	10	VNIR
Band 8 – NIR	0,842	10	VNIR



а) б) в)

Рисунок 1 – Сезонные показатели NDVI территории Илийского района:
а) весенний показатель NDVI; б) летний показатель NDVI; в) осенний показатель NDVI

Значения NDVI варьируются в диапазоне от -1 до +1 (от красного к зеленому цвету). Высокие значения индекса (0.5–0.9) соответствуют плотной и здоровой растительности, тогда как низкие значения (близкие к 0 или отрицательные) характерны для оголённых почв, урбанизированных территорий и водных поверхностей. В контексте настоящего исследования NDVI рассматривается как косвенный индикатор наличия подземных вод, поскольку в условиях аридного климата устойчиво высокая вегетационная активность может свидетельствовать о дополнительном водоснабжении за счёт подпитки из водоносных горизонтов. В весенний период значения NDVI варьируют от -0.305 до 0.656. Весной наблюдается наиболее широкий диапазон значений, что отражает высокую пространственную контрастность территории. Положительные значения NDVI (0.3–0.65) соответствуют участкам с активной вегетацией, включая сельскохозяйственные земли и пойменные территории. Отрицательные и близкие к нулю значения (-0.3–0.1) характерны для оголённых почв, песчаных массивов и водных поверхностей. В летний период значения NDVI варьируют от -0.226 до 0.616. Летом наблюдается некоторое снижение максимальных значений NDVI по сравнению с весной, что может быть связано с водным стрессом растительности в условиях высоких температур и дефицита осадков. При этом отрицательные значения остаются стабильными, отражая устойчивые непокрытые поверхности. Значения NDVI варьируют от -0.220 до 0.636. Осенью наблюдается незначительное восстановление максимальных значений NDVI по сравнению с летним периодом. Это может быть связано с завершением сельскохозяйственного цикла (уборка, орошение) и вторичной вегетацией на отдельных участках. Однако общая структура распределения остаётся сходной с летним сезоном. В целом, диапазон NDVI по сезонам остаётся стабильным: это указывает на устойчивую пространственную структуру землепользования, наличие постоянных зон растительности (вероятно, зависящих от водообеспечения), стабильное присутствие аридных поверхностей.

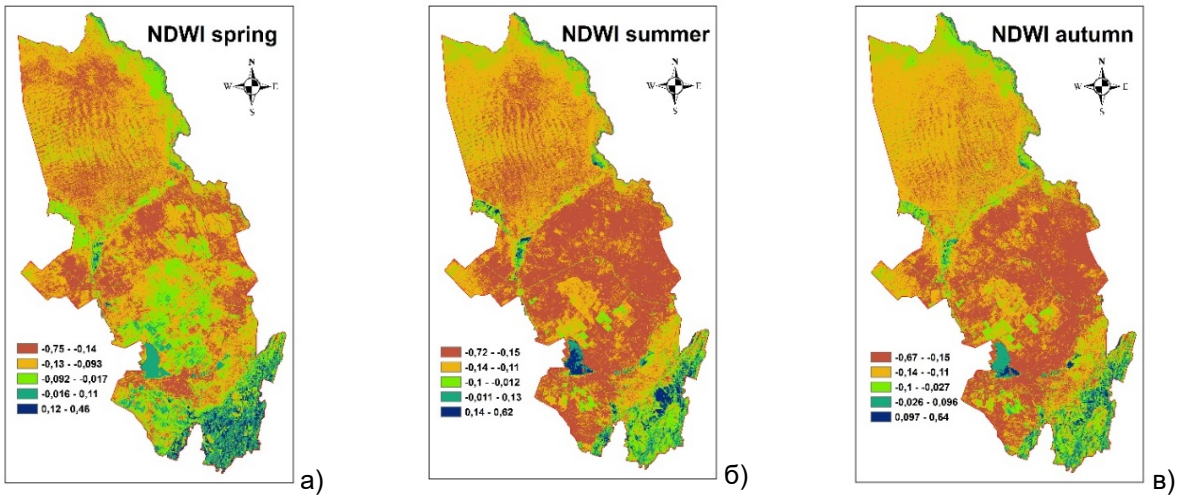
Для оценки пространственного распределения влаги использован нормализованный разностный водный индекс – NDWI (таблица 3). Индекс позволяет выявлять участки с повышенным содержанием влаги, включая поверхностные водные объекты и зоны увлажнённых почв (рисунок 2). NDWI рассчитывается по формуле:

$$NDWI = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad (2)$$

где: *NIR* – ближний инфракрасный диапазон,
SWIR – коротковолновый инфракрасный диапазон.

Таблица 3 – Использованные данные Sentinel-2

Sentinel-2 Bands	CentralWavelength (μm)	Resolution (m)	Shooting mode
Band 8 – NIR	0,842	10	VNIR
Band 11 – SWIR	1.610	20 приведённый к 10 м	SWIR



а) б) в)

Рисунок 2 – Сезонные показатели NDWI территории Илийского района:
а) весенний показатель NDWI; б) летний показатель NDWI; в) осенний показатель NDWI

Значения NDWI также варьируются от -1 до +1. Более высокие значения соответствуют наличию воды или повышенной влажности, тогда как отрицательные значения характерны для сухих поверхностей. В рамках данного исследования NDWI используется для: выявления зон накопления влаги, идентификации участков потенциальной инфильтрации, косвенной оценки процессов подпитки подземных вод. Анализ нормализованного водного индекса, рассчитанного на основе данных Sentinel-2, позволяет оценить пространственно-временную динамику поверхностной и почвенной влажности на территории исследования в весенний, летний и осенний периоды. Значения NDWI весной варьируют от -0.749 до 0.463. В этот сезон наблюдается наиболее широкий диапазон значений индекса, что отражает высокую пространственную неоднородность условий увлажнения. Положительные значения NDWI (0.2–0.46) соответствуют участкам с повышенной влажностью, включая пойменные зоны, орошаемые сельскохозяйственные территории и участки с близким залеганием грунтовых вод. Отрицательные значения (до -0.75) характерны для сухих почв, песчаных поверхностей и слабо увлажнённых аридных территорий. Летом значения NDWI варьируют от -0.720 до 0.617. Летом наблюдается сохранение высоких максимальных значений NDWI (до 0.61), что указывает на наличие устойчивых увлажнённых участков даже в условиях высокой температуры и испаряемости. Это может быть связано с влиянием ирригации или подпитки подземными водами. В осенний период значения NDWI варьируют от -0.665 до 0.637. Осенью наблюдается небольшое увеличение максимальных значений NDWI по сравнению с летним периодом. Это может быть связано с сезонным снижением испаряемости, завершением вегетационного периода и возможной активизацией процессов накопления влаги в почве. Отрицательные значения остаются устойчивыми, что подтверждает сохранение аридного фона на значительной части территории. Сравнение сезонных значений показывает стабильное присутствие как отрицательных, так и положительных значений индекса. Все это указывает на выраженную пространственную неоднородность водного режима, наличие устойчивых влажных зон среди аридного фона, влияние как природных (грунтовые воды), так и антропогенных факторов (орошение). Стабильно высокие значения NDWI в отдельные сезоны (до 0.60–0.63) могут свидетельствовать о наличии локальных зон повышенной влажности, потенциально связанных с неглубокими грунтовыми водами или ирригационным питанием, что особенно характерно для аридных территорий Илийского района.

Цифровая модель рельефа позволяет учитывать орографические особенности территории, влияющие на поверхностный сток, инфильтрацию и аккумуляцию влаги. В условиях аридного климата рельеф играет важную роль в перераспределении водных потоков и формировании локальных зон

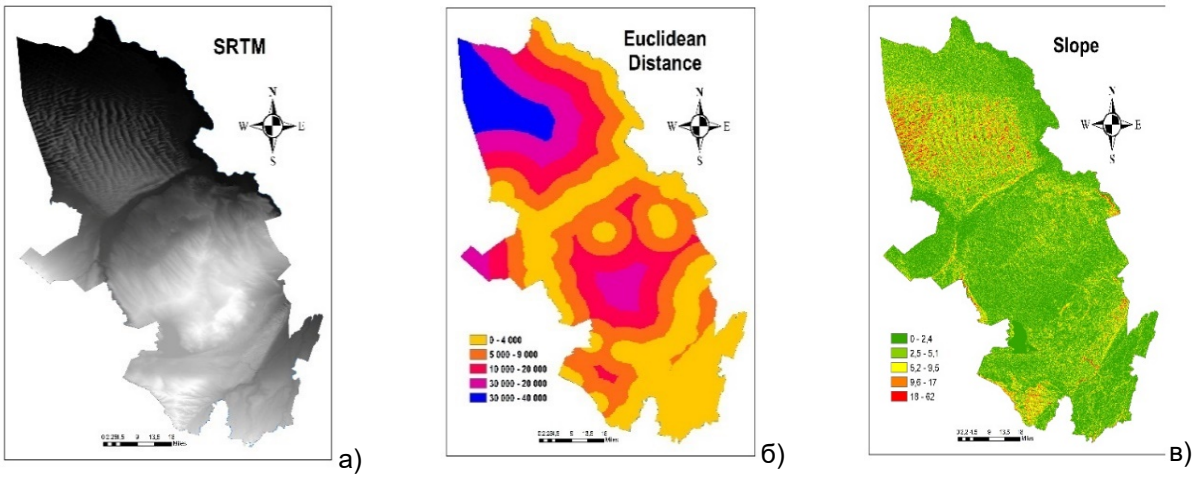
подпитки подземных вод. Перед использованием DEM была приведена к единой системе координат и пространственному разрешению, согласованному с другими используемыми наборами данных.

Для учёта влияния гидрографической сети на формирование подземных вод был рассчитан показатель расстояния до ближайших водных объектов, или Евклидово расстояние до дренажной сети (Distance to Rivers). В качестве исходных данных использованы векторные слои рек и водоёмов, включая реку Или и связанные с ней гидрологические элементы. Расчёт расстояния выполнен с применением инструмента Euclidean Distance в среде ArcGIS, в результате чего получен непрерывный растровый слой, отражающий удалённость каждой точки территории от ближайшего водного объекта. Данный параметр является важным гидрогеологическим индикатором, поскольку близость к рекам и водоёмам часто коррелирует с:

1) повышенным уровнем грунтовых вод;
2) зонами разгрузки подземных вод;
3) участками активной инфильтрации.

Меньшие значения расстояния, как правило, ассоциируются с более высокой вероятностью наличия подземных вод, тогда как удалённые участки характеризуются более ограниченным водообеспечением.

Анализ морфометрического параметра уклона (Slope), полученного на основе цифровой модели рельефа SRTM и рассчитанного в среде ArcGIS, показал, что значения уклона варьируют в диапазоне от 2.44% до 62.2%. Полученные значения выражены в процентах (Percent Rise) и отражают степень крутизны поверхности исследуемой территории. Низкие значения уклона (2–10%), на карте темно-зеленого до желтого цвета, данные участки соответствуют: аллювиальным равнинам, пойменным территориям реки Или. Эти данные показывают низкую скорость поверхностного стока, высокую вероятность инфильтрации, благоприятные условия для формирования подземных вод. Средние значения уклона (10–18%), на результативной карте оранжевого цвета, характерны для переходных зон. Они указывают на умеренный поверхностный сток, частичную инфильтрацию, смешанные условия водообеспечения. Высокие значения уклона (18–62%), красный диапазон, приурочены к возвышенным участкам и склонам. Значит эти зоны имеют интенсивный поверхностный сток, минимальную инфильтрацию, низкую вероятность накопления подземных вод (рисунок 3).



а) б) в)

Рисунок 3 – Геопространственные показатели Илийского района:
а) SRTM; б) Евклидово расстояние; в) карта уклона

Использование DEM, уклона и расстояния до водных объектов в совокупности со спектральными индексами (NDVI, NDWI) позволяет сформировать многопараметрическое описание исследуемой территории, учитывающее как морфометрические, так и гидрологические особенности. Такая интеграция факторов является особенно эффективной при применении методов машинного обучения, поскольку позволяет учитывать сложные и нелинейные взаимосвязи между рельефом, поверхностными процессами и условиями формирования подземных вод.

Алгоритм Random Forest представляет собой ансамбль решающих деревьев, обучаемых на случайных подвыборках исходных данных и признаков. Итоговое решение формируется путём голосования (majority voting) всех деревьев ансамбля.

Формально модель может быть представлена как:

$$\hat{y} = \text{mode}(T_1(x), T_2(x), \ldots, T_n(x)) \quad (3)$$

где: $T_i(x)$ – предсказание i-го дерева, n – количество деревьев в ансамбле.

Преимуществами данного метода являются: устойчивость к переобучению; способность работать с нелинейными зависимостями; высокая точность при ограниченном объёме обучающих данных; возможность оценки важности признаков.

Реализация модели выполнена в среде Python с использованием библиотеки Scikit-learn.

Краткий код для Python: извлечь растровые значения в местах расположения скважин; создать обучающий набор данных; классифицировать скважины на основе расхода (квантили); обучить модель Random Forest; применить модель к набору растровых данных; сгенерировать карту потенциала грунтовых вод.

Загружаем подготовленные данные:

project/
├── ndvi_spring.tif, ndvi_summer.tif, ndvi_autumn.tif
├── ndwi_spring.tif, ndwi_summer.tif, ndwi_autumn.tif
├── slope.tif
├── dem.tif
├── distance.tif
├── wells.shp
├── wells.dbf
├── wells.shx
└── wells.prj

После загрузки растровых данных, подготовили обучающую выборку из wells (скважины), в качестве эталонного набора данных использовался векторный набор данных о скважинах подземных вод. Каждая скважина содержала информацию о дебите (сбросе), которая служила основой для обучения модели.

Следующим этапом извлекли значения факторов в точках скважин, провели обучение Random Forest, задали построение карты потенциала подземных вод исследуемой территории. Классы потенциала грунтовых вод были получены из дебита скважин (Debit) с использованием квантильной классификации. Валидация: набор данных был разделен на 70% обучающую и 30% тестовую подгруппы. Применение модели: обученная модель была применена к растровым слоям с использованием подхода попиксельного прогнозирования.

Среда реализации: вся обработка данных, анализ и моделирование выполнялись с использованием среды программирования Python. Обработка геопространственных данных и растровых изображений проводилась с помощью библиотек rasterio и geopandas, что обеспечило эффективное чтение, манипулирование и извлечение пространственных данных. Визуализация результатов и промежуточных выходных данных выполнялась с помощью Matplotlib. Модель была реализована на Python с использованием библиотеки scikit-learn со следующими параметрами: количество деревьев: 300, случайное состояние: 42, вес классов: сбалансированный.

Набор данных был случайным образом разделен на обучающую (70%) и тестовую (30%) подгруппы с использованием стратифицированной выборки для сохранения пропорций классов. В итоговых данных классы потенциала грунтовых вод были определены на основе данных о дебите скважин с использованием квантильного подхода к классификации. Набор данных был разделен на три категории на основе 33-го и 66-го процентилей: низкий, средний и высокий потенциалы. Такой подход обеспечивает сбалансированное распределение образцов по классам и позволяет избежать субъективного выбора пороговых значений. Для оценки вклада каждого фактора, влияющего на ситуацию, из модели Random Forest были извлечены оценки важности признаков. Эти оценки позволяют получить представление об относительном влиянии топографических, гидрологических и растительных переменных на наличие грунтовых вод.

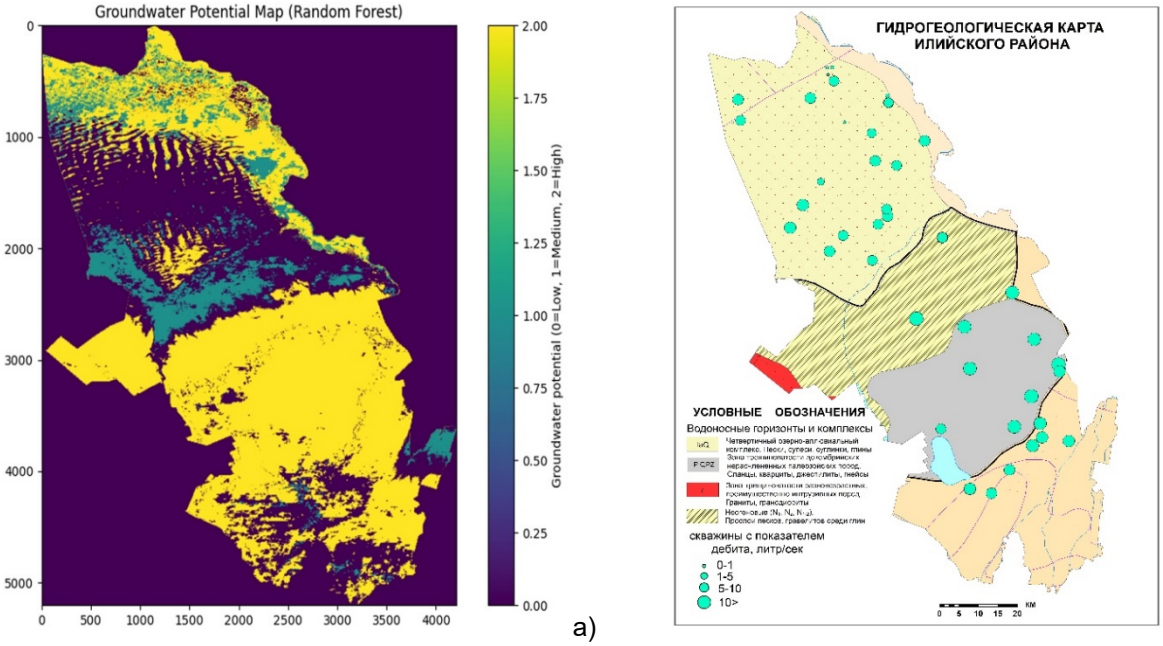
После обучения модель Random Forest была применена ко всему набору растровых слоев с использованием попиксельного подхода к прогнозированию. Все факторы, влияющие на потенциал, были объединены в многоканальный растр и преобразованы в двумерную матрицу признаков. Обученная модель использовалась для прогнозирования потенциала подземных вод для каждого пикселя, в результате чего была получена пространственно непрерывная карта потенциала подземных вод, классифицированная по трем категориям: низкий, средний и высокий. Итоговый результат был экспортирован в виде растра GeoTIFF для дальнейшей визуализации и анализа.

Результаты. Составленная карта потенциала подземных вод выявила неоднородное пространственное распределение по всей исследуемой территории. Зоны с высоким потенциалом подземных вод были в основном сосредоточены в низинах, речных долинах и регионах с благоприятной проницаемостью почвы и влажностью. Эти районы, вероятно, связаны с усиленными процессами пополнения и накопления грунтовых вод. Процент потенциала площади подземных вод на территории Илийского района распределена согласно полученным данным согласно алгоритму: low: 20% medium: 40% high: 40%.

Зоны со средним потенциалом были распределены в переходных зонах, часто окружающих регионы с высоким потенциалом и отражающих умеренные гидрогеологические условия. Зоны с низким потенциалом преимущественно располагались на возвышенностях и в районах с ограниченным растительным покровом и низкой доступностью влаги.

Для оценки достоверности результатов моделирования была проведена сравнительная оценка между сгенерированной картой и гидрогеологической картой региона (рисунок 4). Визуальный анализ

показал высокую степень пространственного совпадения между предсказанными зонами распространения подземных вод и участками, выделенными на гидрогеологической карте. Наибольшее соответствие наблюдается в аллювиальных отложениях долины реки Или, где обе карты фиксируют повышенную вероятность наличия водоносных горизонтов. Так же наблюдаются небольшие различия в центральной зоне региона, что возможно связано с изменениями гидрогеологических условий, во время составления карт. Полученные результаты подтверждают высокую прогностическую способность алгоритма Random Forest при решении задач картирования подземных вод и демонстрируют его применимость для уточнения гидрогеологических условий в районах с ограниченными полевыми данными.



а) б)

Рисунок 4 – Полученные результаты работы: а) Сгенерированная карта потенциала подземных вод; б) Гидрогеологическая карта территории Илийского района

Анализ важности признаков, полученный с помощью модели Random Forest, показал, что определенные переменные оказывают более сильное влияние на картирование потенциала подземных вод. Среди них сезонные показатели NDWI, NDVI, показали самые высокие показатели важности. Сезонные индексы, такие как NDVI и NDWI, внесли значительный вклад в эффективность модели, подчеркивая важность динамики растительности и условий поверхностной влажности в процессах пополнения подземных вод. В частности, слои NDWI оказались сильными индикаторами доступности влаги, которая напрямую связана с потенциалом инфильтрации.

Топографические факторы, представленные ЦМР, также играли решающую роль, контролируя процессы стока, инфильтрации и накопления. Аналогично, тип почвы влиял на наличие подземных вод, воздействуя на проницаемость и водоудерживающую способность.

Эти результаты демонстрируют преимущество интеграции многовременных спутниковых индексов с данными о рельефе и почве для улучшения моделирования подземных вод.

Наблюдаемые на карте пространственные закономерности соответствуют известным гидрогеологическим принципам, где топография, характеристики почвы и близость к дренажным сетям играют решающую роль в наличии подземных вод.

Модель Random Forest продемонстрировала высокую прогностическую способность в классификации зон потенциального залегания грунтовых вод. Общая точность классификации на тестовом наборе данных достигла [вставь значение, например, 0,82–0,90], что указывает на хорошее соответствие между прогнозируемыми и наблюдаемыми классами.

Включение сезонных индексов NDVI и NDWI в данное исследование обеспечивает дополнительное преимущество, поскольку позволяет учитывать временную изменчивость, которая часто игнорируется в традиционных оценках подземных вод. Такой подход повышает способность модели отражать реальные условия окружающей среды.

Полученная карта потенциала подземных вод предоставляет ценную информацию для управления водными ресурсами, особенно в засушливых и полузасушливых регионах. Выделенные в этом исследовании зоны с высоким потенциалом могут служить приоритетными областями для разведки подземных вод.

Более того, представленная здесь методология предлагает воспроизводимую и масштабируемую основу, которую можно применять в других регионах с аналогичными условиями окружающей среды. Интеграция данных дистанционного зондирования и методов машинного обучения позволяет прово-

дить эффективную и экономически выгодную оценку подземных вод и устойчивого развития сельского хозяйства.

Эти результаты подтверждают пригодность подхода Random Forest для моделирования сложных нелинейных взаимосвязей между факторами окружающей среды и наличием грунтовых вод.

Заключение. В данном исследовании продемонстрирована эффективность интеграции многоисточниковых геопространственных данных с моделью случайного леса для картирования потенциала подземных вод в Илийском районе южного Казахстана. Путем объединения топографических, гидрологических, почвенных и многовременных спутниковых индексов (NDVI и NDWI) была разработана надежная и основанная на данных система для выявления пространственных вариаций потенциала подземных вод.

Классификация потенциала подземных вод на основе дебита скважин (Debit) с использованием квантильного подхода позволила сформировать сбалансированные и статистически достоверные классы (низкий, средний и высокий). Модель продемонстрировала высокую прогностическую эффективность, подтвердив свою способность улавливать сложные нелинейные взаимосвязи между переменными окружающей среды и наличием подземных вод.

Полученная карта потенциала подземных вод выявила неоднородную пространственную структуру, при этом зоны высокого потенциала в основном связаны с низменными районами, благоприятными почвенными условиями и близостью к дренажным сетям. Эти выводы согласуются с гидрогеологическими принципами и подчеркивают решающую роль поверхностной влажности и характеристик рельефа в процессах пополнения подземных вод.

Выделенные моделью зоны с высоким потенциалом могут быть обозначены как приоритетные районы для стратегического развития водоснабжения, особенно в регионах, испытывающих растущий спрос на воду в связи с расширением сельского хозяйства и ростом населения. И наоборот, в районах с низким потенциалом можно применять более консервативные методы добычи, чтобы предотвратить чрезмерную эксплуатацию и истощение подземных вод.

Результаты также могут способствовать планированию землепользования, предоставляя информацию для регулирования зонирования и направляя сельскохозяйственную практику. Например, орошаемые виды деятельности могут быть направлены в районы с более высокой доступностью подземных вод, в то время как водосберегающие методы могут продвигаться в зонах с низким потенциалом. Такой пространственно-ориентированный подход способствует более эффективному распределению водных ресурсов и повышает долгосрочную устойчивость.

Информация о финансировании. Данное исследование финансировалось 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».

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Madani, A. and Niyazi, B. (2023) 'Groundwater potential mapping using remote sensing and random forest machine learning model: a case study from lower part of Wadi Yalamlam, Western Saudi Arabia** [Text] / Sustainability, 15(3), p. 2772**.** https://doi.org/10.3390/su15032772.

2. **Sarkar, S.K., Rudra, R.R., Talukdar, S., Das, P.C., Nur, M.S., Alam, E., Islam, M.K. and Islam, A.R.M.T. (2024) Future groundwater potential mapping using machine learning algorithms and climate change scenarios in Bangladesh** [Text]/ Scientific Reports, 14, p. 10328. https://doi.org/10.1038/s41598-024-60560-2.

3. **Nugroho, J.T., Lestari, A.I., Gustiandi, B., Sofan, P., Suwarsono, Prasasti, I., Rahmi, K.I.N., Noviar, H., Sari, N.M., Manalu, R.J., Arifin, S. and Taufiq, A. (2024) Groundwater potential mapping using machine learning approach in West Java, Indonesia** [Text] /Groundwater for Sustainable Development, 27, p. 101382. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101382.

4. **Du, U., Xiang, Y., Chen, J., Lu, X., Zhang, F., Zhang, Z., Yang, B., Tang, Z., Wang, X. and Qian, L. (2024) Daily soil water content monitoring of cropland in irrigation area using Sentinel-2/3 spatio-temporal fusion and machine learning** [Text] / International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 132, p. 104081. https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.10408.

5. **Orynbaikyzy, A., Gessner, U. and Conrad, C. (2022) Spatial transferability of random forest models for crop type classification using Sentinel-1 and Sentinel-2** [Text] / Remote Sensing, 14(6), 1493. https://doi.org/10.3390/rs14061493.

6. **Thapa, A., Horanont, T. and Neupane, B. (2022) Parcel-level flood and drought detection for insurance using Sentinel-2A, Sentinel-1 SAR GRD and mobile images** [Text] / Remote Sensing, 14, p. 6095. https://doi.org/10.3390/rs14236095.

7. **Atefe Arfa, Masoud Minaei (2024) Utilizing multitemporal indices and spectral bands of Sentinel-2 to enhance land use and land cover classification with random forest and support vector machine** [Text]/ Advances in Space Research, 74(11), pp. 5580–5590. https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.08.062.

REFERENCES:

1. Madani A., Niyazi B. Groundwater potential mapping using remote sensing and random forest machine learning model: a case study from lower part of Wadi Yalamlam, Western Saudi Arabia. *Sustainability,* 2023, 15(3), art. 2772**.** https://doi.org/10.3390/su15032772.

2. 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, 14, art. 10328. https://doi.org/10.1038/s41598-024-60560-2.

3. Nugroho J.T., Lestari A.I., Gustiandi B., et al. Groundwater potential mapping using machine learning approach in West Java, Indonesia. *Groundwater for Sustainable Development*, 2024, 27, art. 101382. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101382.

4. Du U., Xiang Y., Chen J., et al. Daily soil water content monitoring of cropland in irrigation area using Sentinel-2/3 spatio-temporal fusion and machine learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2024, 132, art. 104081. https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.10408.

5. Orynbaikyzy A., Gessner U., Conrad, C. Spatial transferability of random forest models for crop type classification using Sentinel-1 and Sentinel-2. *Remote Sensing*, 2022, 14(6), art. 1493. https://doi.org/10.3390/rs14061493.

6. Thapa A., Horanont T., Neupane, B. Parcel-level flood and drought detection for insurance using Sentinel-2A, Sentinel-1 SAR GRD and mobile images, *Remote Sensing*, 2022, 14, art. 6095. https://doi.org/10.3390/rs14236095.

7. Atefe Arfa, Masoud Minaei. Utilizing multitemporal indices and spectral bands of Sentinel-2 to enhance land use and land cover classification with random forest and support vector machine. *Advances in Space Research*, 2024, 74(11), pp. 5580–5590. https://doi.org/10.1016/j.asr.2024.08.062.

Дата поступления: 24 апреля 2026 г. **Принято:** 24 июня 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

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.

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.: 8(727)2911862, e-mail: igg.info@mail.ru.

Муртазин Ермек Жамшитович – кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 8(727)2915031, e-mail: ye_murtazin@list.ru.

Муратова Мира Муратовна – ведущий инженер лаборатории ГИС-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University», 050010, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 8(727)2914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Оңласынов Жұлдызбек Әлиханұлы – гидрогеология және инженерлік геология ғылымдарының докторы (PhD), «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының меңгерушісі., Сәтбаев университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, тел.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek. onlasynov@mail.ru.*

Абсаметов Мәліс Құдысұлы – геология-минералогия ғылымдарының докторы, профессор, «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының директоры, Сәтбаев университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ, Уәлиханов көш., 94, тел.: 8(727) 2911862, e-mail: igg.info@mail.ru.

Муртазин Ермек Жәмшитұлы – геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, директордың ғылым жөніндегі орынбасары, «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, Сәтбаев университеті», 050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Уәлиханов көш., 94, тел.: 8(727)2915031, e-mail: ye_murtazin@list.ru.

Мұратова Мира Мұратқызы – ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының жетекші инженері, «У.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты., Сәтбаев университеті», 050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, тел.: 8(727)2914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Onlassynov Zhuldyzbek Alikhanuly – PhD, Head of the Laboratory of GIS technologies and earth remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geosciense, Satbayev University,*

Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru.

Absametov Malis Kudyssovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Director of the Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geosciense, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: 8(727)2911862, e-mail: igg.info@mail.ru.

Murtazin Yermek Zhamshitovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director for Science, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geosciense, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94. Valikhanov Str., tel.: 8(727)2915031, e-mail: ye_murtazin@list.ru.

Muratova Mira Muratovna – Leading engineer, Laboratory of GIS technologies and earth remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geosciense, Satbayev University, 050010, Republic of Kazakhstan, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: 8(727)2914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

МРНТИ 68.85.87
УДК 631.372
https://doi.org/10.52269/SEPT2631204

ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛА ЛОПАТОК ТУРБОКОМПРЕССОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Рустембаев А.Б. – доктор философии (PhD), заместитель директора института инжиниринга и пищевых технологий по научно-исследовательской работе и интернационализации, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Тунников А.А. – магистрант кафедры транспортной техники и технологий, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.

Кравченко Р.И. – доктор философии (PhD), заведующий кафедрой аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Золотухин Е.А. – доктор философии (PhD), ассоциированный профессор кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.*

Данное исследование направлено на повышение эксплуатационной эффективности дизельного двигателя ММЗ Д-245.9 за счёт совершенствования системы турбонаддува. Объектом исследования является центробежный компрессор ТКР 6.1, конструкция которого модернизирована посредством интеграции регулируемого входного направляющего аппарата, разработанного на основе патента RU2293220C2. В работе применены методы математического моделирования, термодинамического анализа и CFD-моделирования для оценки влияния предварительной закрутки воздушного потока на структуру течения в межлопаточных каналах рабочего колеса и параметры энергообмена в проточной части. Установлено, что штатная геометрия компрессора при номинальном режиме характеризуется критическим углом атаки +12,85°, вызывающим срыв потока, рост гидравлических потерь и снижение адиабатического коэффициента полезного действия. В результате параметрической оптимизации определён рациональный угол установки лопаток входного направляющего аппарата (45°), обеспечивающий безударный вход потока, стабилизацию структуры течения и повышение адиабатического КПД на 16,1%. Термодинамические расчёты показали снижение температуры наддувочного воздуха на 16,7 К и увеличение его плотности на 0,65%. Комплексное аэродинамическое совершенствование узла обеспечивает прирост эффективной мощности двигателя на 5,4% при одновременном снижении удельного расхода топлива на 2,4%, что подтверждает научную новизну и практическую значимость проведённых исследований для транспортных и сельскохозяйственных машин, эксплуатируемых в различных климатических условиях.

Ключевые слова: *дизельный двигатель, турбокомпрессор, входной направляющий аппарат, угол атаки, КПД, топливная экономичность, плотность заряда.*

АУЫЛ ШАРУАШАЛЫҒЫ ТЕХНИКАСЫНЫҢ ДИЗЕЛЬДІ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН ТУРБОКОМПРЕССОР ҚАЛАҚШАЛАРЫНЫҢ БҰРЫШЫН ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ

Рүстембаев А.Б. – философия докторы (PhD), Инжиниринг және азық-түлік технологиялар институт директорының ғылыми-зерттеу жұмыстары және интернационалдандыру жөніндегі орынбасары, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Тунников А.А. – көлік техникасы және технология кафедрасының магистранты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Кравченко Р.И. – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының меңгерушісі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Золотухин Е.А. – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

Берілген зерттеу ММЗ Д-245.9 дизельді қозғалтқышының пайдалану тиімділігін турбонаддув жүйесін жетілдіру арқылы арттыруға бағытталған. Зерттеу нысаны – ТКР 6.1 центробежді компрессоры, оның конструкциясы RU2293220C2 патенті негізінде әзірленген реттелетін кіріс бағыттаушы аппаратымен интеграциялау арқылы жаңғыртылған. Жұмыста ауа ағынының алдын ала бұралуының жұмыс дөңгелегінің қалақшааралық арналарындағы ағыс құрылымына және ағын бөлігіндегі энергия алмасу параметрлеріне әсерін бағалау үшін математикалық модельдеу, термодинамикалық талдау және CFD-модельдеу әдістері қолданылды. Анықталғандай, компрессордың штаттық геометриясы номиналдық режимде +12,85° критикалық шабуыл бұрышымен сипатталады, бұл ағынның үзілуін, гидравликалық шығындардың өсуін және адиабаталық пайдалы әсер коэффициентінің төмендеуін туындатады. Параметрлік оңтайландыру нәтижесінде кіріс бағыттаушы аппарат қалақшаларының ұтымды орнату бұрышы (45°) айқындалды, ол ағынның соққысыз кіруін, ағыс құрылымының тұрақтануын және адиабаталық ПӘК-тің 16,1%-ға артуын қамтамасыз етеді. Термодинамикалық есептеулер наддув ауасының температурасының 16,7 К-ге төмендеуін және оның тығыздығының 0,65%-ға артуын көрсетті. Торапты кешенді аэродинамикалық жетілдіру қозғалтқыштың тиімді қуатын 5,4%-ға арттырып, меншікті отын шығынын 2,4%-ға төмендетуді қамтамасыз етеді, бұл әртүрлі климаттық жағдайларда пайдаланылатын көлік және ауыл шаруашылығы машиналары үшін жүргізілген зерттеулердің ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығын растайды.

Түйінді сөздер: *дизельді қозғалтқышы, турбокомпрессор, кіріс бағыттаушы аппарат, шабуыл бұрышы, тиімділік, отын үнемділігі, заряд тығыздығы.*

OPTIMIZATION OF TURBOCHARGER BLADE ANGLES FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF DIESEL ENGINES IN AGRICULTURAL MACHINERY

Rustembayev A.B. – PhD, Deputy Director for Research Work and Internationalization of the Institute of Engineering and Food Technologies, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Tunnikov A.A. – Master's student, Department of transport equipment and technologies, S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.

Kravchenko R.I. – PhD, Head of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Zolotukhin Ye.A. – PhD, Associate Professor, Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

This study is aimed at improving the operational efficiency of the MMZ D-245.9 diesel engine by enhancing its turbocharging system. The study focuses on the TKR 6.1 centrifugal compressor, which has been modified to incorporate an adjustable inlet guide vane assembly developed based on Patent RU2293220C2. The research employs mathematical modeling, thermodynamic analysis, and CFD simulation methods to evaluate the effect of preliminary air swirl on the flow structure in the impeller blade passages and on the energy exchange parameters in the flow path. It has been established that the standard compressor geometry under nominal operating conditions is characterized by a critical angle of attack of +12.85°, which causes flow separation, increased hydraulic losses, and a decrease in adiabatic efficiency. As a result of parametric optimization, a rational blade setting angle of the inlet guide vane apparatus (45°) was determined, ensuring shockless flow entry, stabilization of the flow structure, and an increase in adiabatic efficiency by 16.1%. Thermodynamic calculations showed a decrease in charge air temperature by 16.7 K and an increase in its density by 0.65%. Comprehensive aerodynamic improvement of the unit provides a 5.4% increase in the effective engine power while simultaneously reducing specific fuel consumption by 2.4%, confirming the scientific novelty and practical significance of the research for transport and agricultural machinery operating under various climatic conditions.

Keywords: *diesel engine, turbocharger, inlet guide vane, approach angle, efficiency, fuel economy, charge density.*

Введение. Двигатели внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия остаются основным источником энергии для коммерческого транспорта и сельскохозяйственной техники благодаря их

высокой топливной эффективности. В странах СНГ широкое распространение получили среднеоборотные дизельные двигатели семейства ММЗ Д-245.9, эксплуатируемые на тракторах МТЗ, грузовых автомобилях МАЗ и ГАЗ [1, с.10]. В условиях ужесточения экологических норм и необходимости снижения эксплуатационных расходов ключевой задачей является повышение КПД силовой установки, что особенно важно для техники сельскохозяйственного назначения, работающей в продолжительном цикле и при переменных нагрузках.

Система газотурбинного наддува является важным фактором, определяющим эффективность дизеля. Однако штатные турбокомпрессоры (типа ТКР 6.1), применяемые на этих двигателях, имеют фиксированную геометрию проточной части. Это приводит к снижению эффективности на режимах малых нагрузок и при низких частотах вращения коленчатого вала ($n < 1500$ мин$^{-1}$), что типично для сельскохозяйственных операций, таких как пахота, сеялка или транспортировка грузов на низких скоростях. В этой зоне наблюдается эффект «турбоямы»: энергии выхлопных газов недостаточно для быстрого выхода компрессора на рабочий режим, что вызывает падение коэффициента избытка воздуха, неполное сгорание топлива и резкий рост выбросов сажи и оксидов азота [2, с.51; 3, с.1055].

Существующие методы решения, такие как турбины с изменяемой геометрией, значительно усложняют конструкцию. Альтернативным и перспективным направлением является аэродинамическая оптимизация лопаточного аппарата. В частности, анализ патентной базы (например, патент RU2293220C2) показывает эффективность применения промежуточных лопаток (сплиттеров) для расширения диапазона газодинамической устойчивости [4]. Однако в литературе недостаточно данных о влиянии угла атаки на характеристики таких модернизированных колес в специфических условиях работы дизеля ММЗ Д-245.9 (при температуре газов до 700 °C и расходе воздуха 0.15-0.35 кг/с), что актуально для сельскохозяйственных тракторов и машин.

Целью исследования является повышение технико-экономических и эксплуатационных характеристик дизельного двигателя ММЗ Д-245.9, используемого в сельскохозяйственной технике, путем совершенствования аэродинамических параметров всасывающего тракта турбокомпрессора.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи:**

1. Выполнить теоретический анализ кинематики потока во входном узле компрессора ТКР 6.1 для идентификации причин газодинамического несовершенства и определения расчетных углов атаки на номинальном режиме.
2. Установить граничные условия численного моделирования, базируясь на термодинамических параметрах рабочего цикла дизеля ММЗ Д-245.9.
3. Разработать адекватную расчетную модель проточной части компрессора, учитывающую особенности геометрии лопаточного аппарата со сплиттерами и конструкцию регулируемого ВНА.
4. Провести симуляцию для установления зависимости адиабатического КПД от угла предварительной закрутки потока и выявления области оптимальных значений.
5. Провести сравнительную оценку технико-экономических показателей двигателя при интеграции модернизированного турбокомпрессора, подтвердив эффективность принятых решений по параметрам мощности и удельного расхода топлива для сельскохозяйственных режимов работы.

Объектом исследования выступает система газотурбинного наддува двигателя ММЗ Д-245.9. Предметом исследования является зависимость газодинамических потерь и КПД ступени от угла установки лопаток компрессора.

Научная новизна исследования заключается в установлении зависимости адиабатического КПД центробежного компрессора со сплиттерами от кинематических параметров потока на входе, адаптированной под эксплуатационные характеристики дизеля ММЗ Д-245.9 в сельскохозяйственных условиях. Практическая значимость работы состоит в технико-экономическом обосновании модернизации серийных турбокомпрессоров ТКР-6, обеспечивающей повышение топливной экономичности и оптимизацию параметров рабочего процесса в цилиндрах на переходных режимах, характерных для сельхозмашин, без изменения массогабаритных характеристик узла.

Материалы и методы

В качестве базового объекта исследования выбрана система газотурбинного наддува четырехцилиндрового дизельного двигателя ММЗ Д-245.9. Данный силовой агрегат является типичным представителем класса среднеоборотных дизелей для коммерческой техники и характеризуется высокой теплонапряженностью рабочего процесса [1, с.111].

Для проведения численного эксперимента использована геометрия турбокомпрессора ТКР 6.1 (аналог модели С14-196), штатно устанавливаемого на данный двигатель. Геометрические параметры проточной части были модифицированы в соответствии с принципами, изложенными в патенте RU2293220C2. Суть модификации заключается во внедрении в конструкцию рабочего колеса системы промежуточных лопаток (сплиттеров), что позволяет стабилизировать поток на входе [4, с.1].

Основные технические характеристики двигателя и турбокомпрессора, принятые в качестве граничных условий, сведены в Таблицу 1. Параметры базового двигателя ММЗ Д-245.9 приняты в соответствии с руководством по эксплуатации [1, с.21] и справочными данными по тепловому расчету дизелей [5, с.16]. Геометрические характеристики турбокомпрессора ТКР 6.1 соответствуют каталожным данным завода-изготовителя [6, с.34], а конфигурация лопаточного аппарата с промежуточными лопатками

(сплиттерами) принята согласно описанию патента [4, с.2]. Физические свойства конструкционных материалов для моделирования заданы на основе фундаментальных работ по турбостроению [7, с.165].

Таблица 1 – Технические характеристики и материальное исполнение объекта исследования

Объекта исследования	Параметр	Значение / Описание
Двигатель (ММЗ Д-245.9)	Рабочий объем цилиндров, V_h	4.75 л
	Номинальная мощность, N_e	100 кВт (при 2400 мин$^{-1}$)
	Макс. крутящий момент, M_{max}	460 Н·м (при 1500 мин$^{-1}$)
	Температура выхлопных газов (макс.), T_{gas}	700 °C (973 K)
	Массовый расход воздуха (расчетный), G_{air}	0.25 кг/с
Турбокомпрессор (ТКР 6.1)	Диаметр колеса компрессора (выход), D_2	61 мм
	Частота вращения ротора, n_{tk}	до 120 000 мин$^{-1}$
	Количество лопаток, Z	12 (6 основных + 6 сплиттеров)
	Базовый угол лопаток на входе, β_{1b}	32°
	Материал колеса компрессора	Алюминиевый сплав С355
	Материал колеса турбины	Жаропрочный сплав Inconel 713C

Первым этапом исследования являлось определение газодинамической согласованности проточной части компрессора с условиями натекания потока. В качестве объекта исследования принят турбокомпрессор ТКР 6.1, штатно устанавливаемый на двигатель ММЗ Д-245.9 [1, с.57; 6, с.50].

Геометрические параметры проточной части были модифицированы в соответствии с принципами, изложенными в патенте RU2293220C2 [4, с.3], предполагающем установку регулируемого входного направляющего аппарата (ВНА).

Расчет кинематики потока на входе в рабочее колесо выполнялся на основе фундаментальной теории лопаточных машин [7, с.23; 8, с.37]. Для номинального режима работы двигателя (n=90000 мин$^{-1}$, $\dot{m}$=0.15 кг/с) были определены векторы скоростей.

Окружная скорость на входе (U_1) и осевая составляющая скорости потока (C_{1a}) рассчитывались по формулам:

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \quad (1)$$

$$C_{1a} = \frac{G_{air}}{\rho \cdot F_1} \quad (2)$$

где D_1 – диаметр входа колеса (0.046 м) [6, с.15], F_1 – площадь проходного сечения.

Согласно теории центробежных компрессоров [8, с.41], угол натекания потока (β_1) при наличии предварительной закрутки определяется соотношением осевой и окружной скоростей с учетом тангенциальной составляющей (C_{1u}):

$$C_{1u} = C_{1a} \cdot \tan(\alpha_{vna}) \quad (3)$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{C_{1a}}{U_1 - C_{1u}}\right) \quad (4)$$

Ключевым критерием эффективности являлся угол атаки (i), определяемый как разность между конструктивным углом лопатки ($\beta_{1L} = 32°$) и расчетным углом потока [9, с.13]:

$$i = \beta_{1L} - \beta_1 \quad (5)$$

Результаты и обсуждение

На основе уравнений 1-5 была получена матрица кинематических параметров для диапазона регулирования угла ВНА от $0°$ до $60°$. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение кинематики потока при регулировании ВНА

Угол ВНА (α_{vna}), град	Скорость закрутки (C_{1u}), м/с	Относительная скорость (W_1), м/с	Угол потока (β_1), град	Угол атаки (i), град	Характеристика режима
0 (Штат)	0.0	216.8	19.15	**+12.85**	Критический срыв потока
15	20.2	196.6	20.96	**+11.04**	Зона высокой турбулентности
30	43.5	173.3	23.48	**+8.52**	Частичная стабилизация
40	63.2	153.6	26.10	**+5.90**	Рабочая зона
45	75.3	141.5	28.02	**+3.98**	Оптимальное обтекание
55	107.5	109.3	34.57	**-2.57**	Отрицательный угол (удар в корыто)
60	130.4	86.4	38.60	**-6.60**	Срыв потока с вогнутой стороны

Анализ данных таблицы 2 показывает, что штатная конструкция ($0°$) характеризуется углом атаки $i \approx 13°$. Согласно исследованиям [7, с.12; 9, с.24], значения $i > 5°$ приводят к значительному росту гидравлических потерь на входе.

Расчет показывает, что оптимальные условия входа ($i \approx 4°$) достигаются при установке лопаток ВНА на угол $45°$.

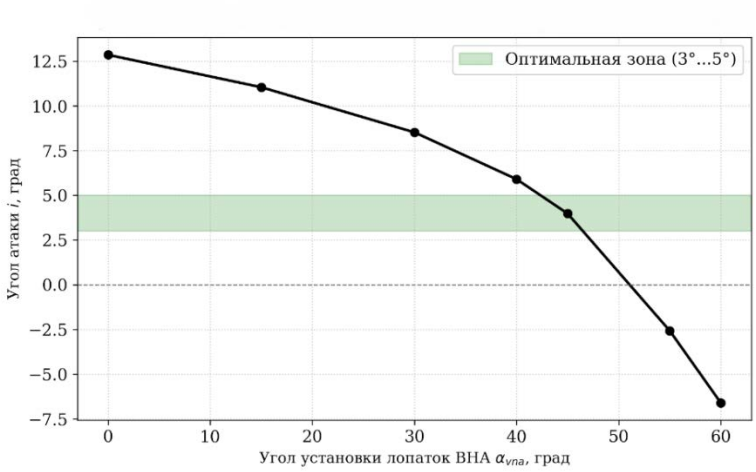


Рисунок 1 – Зависимость угла атаки на лопатки рабочего колеса от угла установки ВНА

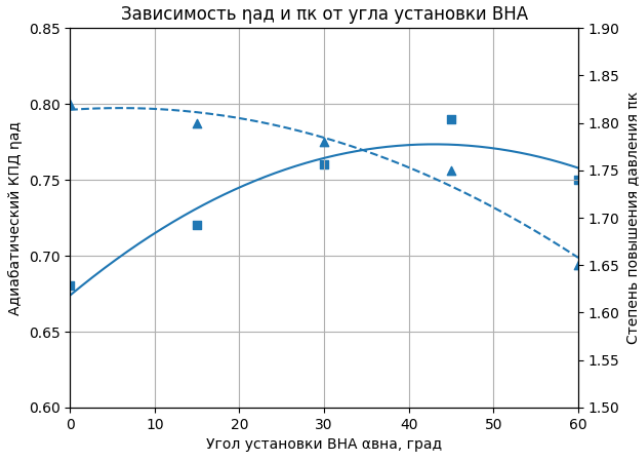


Рисунок 2 – Влияние угла ВНА на характеристики компрессора

Для верификации теоретических расчетов и детального анализа структуры течения было проведено численное моделирование в программном комплексе ANSYS CFX. Для замыкания системы уравнений Навье-Стокса использовалась модель турбулентности SST Ментера, наиболее точно описывающая отрывные течения в лопаточных машинах [10, с.9].

Моделирование проводилось для пяти характерных положений ВНА, охватывающих весь диапазон регулирования: $0°$, $15°$, $30°$, $45°$ и $60°$. На рисунках 3 представлены картины распределения кинетической энергии турбулентности, характеризующие интенсивность диссипации энергии потока.

Эволюция зон турбулентности в межлопаточном канале при изменении угла ВНА.

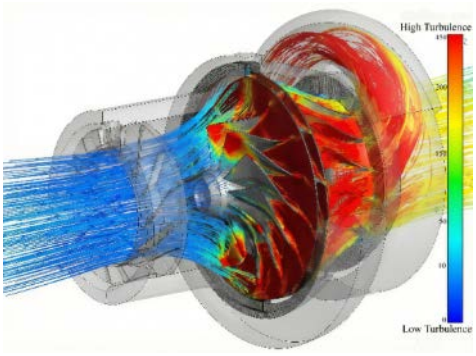
Анализ визуализаций позволяет проследить динамику устранения срывных явлений:

Штатный режим (рисунок 3а): наблюдается обширная зона высокой турбулентности (красный спектр) непосредственно на входных кромках лопаток. Это коррелирует с расчетным углом атаки $+12.85°$ и свидетельствует о жестком ударе потока о "спинку" лопатки.

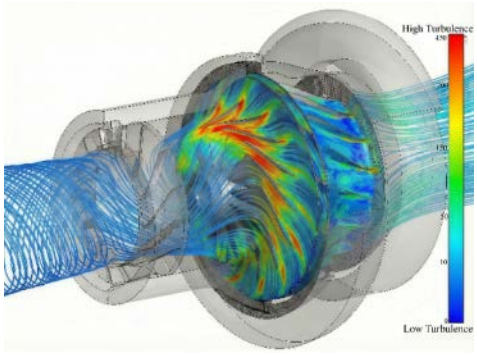
Зона недостаточного регулирования (рисунки 3б и в): при повороте ВНА на $15°$ структура потока меняется незначительно, зоны отрыва сохраняются. При $30°$ наблюдается снижение интенсивности турбулентности (переход к желто-зеленому спектру), однако локальные очаги возмущений присутствуют.

Оптимум (рисунок 3г): при достижении расчетного угла зона возмущений минимизируется. Поток приобретает ламинарный характер (синий спектр), линии тока плавно обтекают профиль лопатки. Это подтверждает эффективность метода, предложенного в патенте [4, с.18], для устранения ударных потерь.

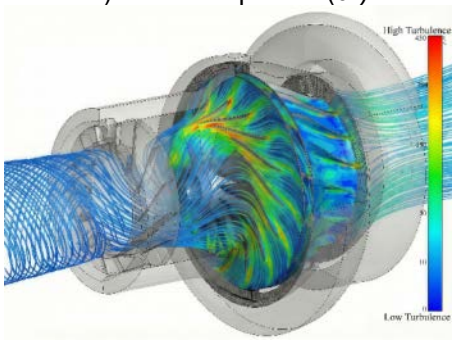
Срыв при перерегулировании (рисунок 3д): Дальнейшее увеличение закрутки приводит к деградации потока. Визуализируется появление новых зон турбулентности (оранжевый спектр), смещенных на вогнутую поверхность ("корыто") лопатки, что вызвано возникновением отрицательных углов атаки.



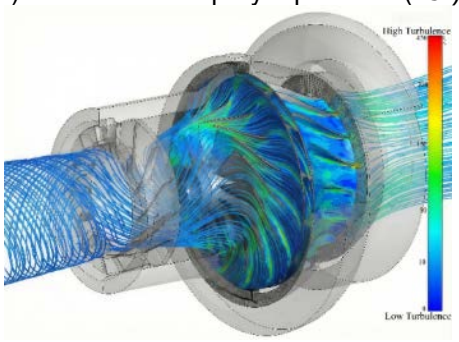
а) Штатный режим (0°)



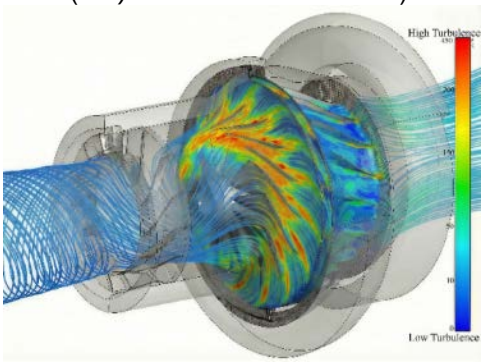
б) Режим малого регулирования (15°)



в) Переходный режим (30°)



г) Оптимизированный режим (45°)



д) Режим перерегулирования (60°)

Рисунок 3 – Динамика устранения срывных явлений

В итоге, CFD-моделирование однозначно подтверждает, что угол установки ВНА 45° является экстремумом функции эффективности для данной геометрии компрессора.

Оценка влияния модернизации системы наддува на выходные характеристики двигателя ММЗ Д-245 производилась по методике теплового расчета двигателей внутреннего сгорания, изложенной в работе А.И. Колчина и В.П. Демидова [11, с.65].

В расчете использовались базовые параметры двигателя [1, с.34] и полученные в ходе моделирования значения адиабатического КПД компрессора (η_{ad}).

Температура воздуха после сжатия (T_k) определялась по формуле политропного процесса [2, с.54; 11, с.76]:

$$T_k = T_0 \cdot \left(1 + \frac{\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_{ad}}\right) \quad (6)$$

Плотность воздушного заряда (ρ_k), определяющая массовое наполнение цилиндров:

$$\rho_k = \frac{P_k}{R \cdot T_k} \quad (7)$$

Эффективная мощность двигателя (N_e) рассчитывалась через среднее эффективное давление (p_e) [3, с.9; 11, с.37]:

$$p_e = \frac{H_u \cdot \eta_i \cdot \eta_v \cdot \rho_k}{l_0 \cdot \alpha} \quad (8)$$

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_h \cdot n}{120} \quad (9)$$

Результаты расчета для штатного и модернизированного вариантов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние оптимизации ВНА на показатели двигателя ММЗ Д-245.9

Наименование параметра	Обозначение	Ед. изм.	Штатный	Модернизированный (ВНА 45°)	Δ, %
Параметры компрессора					
Степень повышения давления	π_k	-	1.82	1.75	-3.8
Адиабатический КПД	η_{ad}	-	0.68	0.79	+16.1
Параметры свежего заряда					
Температура на выпуске	T_k	К (С°)	373.9 (100.9)	357.2 (84.2)	-4.5
Давление наддува	P_k	МПа	0.182	0.175	-3.8
Плотность воздуха	ρ_k	кг/м³	1.696	1.707	+0.65
Выходные данные двигателя					
Среднее эффективное давление	p_e	МПа	1.034	1.090	+5.4
Эффективная мощность	N_e	кВт (л.с.)	98.2 (133.5)	103.5 (140.7)	+5.4
Удельный расход топлива	g_e	г/кВт·ч	252.1	246.2	-2.4

Данные таблицы 3 демонстрируют, что оптимизация угла входа потока позволяет компенсировать снижение давления наддува ростом плотности заряда за счет снижения температуры на $16.7°$C. Согласно данным [5, с.19], снижение температуры наддувочного воздуха является наиболее эффективным способом повышения мощности дизеля без увеличения тепловой напряженности ЦПГ.

Расчет показывает прирост мощности на 5.4% и снижение удельного расхода топлива на 2.4%, что согласуется с теоретическими предпосылками [3, с.24].

1. Анализ кинематики потока показал, что штатный турбокомпрессор ТКР 6.1 работает с углом атаки $+12.85°$, что вызывает значительные потери давления [7, с.14].

2. Численное моделирование подтвердило, что установка ВНА с углом $45°$ позволяет снизить угол атаки до оптимальных $+4°$ и повысить адиабатический КПД компрессора на 16.1% (до 0.79).

3. Тепловой расчет по методике [11, с.63] показал, что модернизация системы впуска обеспечивает увеличение эффективной мощности двигателя ММЗ Д-245.9 на 5.4% (7.2 л.с.) и снижение удельного расхода топлива на 2.4% за счет увеличения плотности заряда и снижения насосных потерь.

Таким образом, анализ совокупности полученных данных (кинематических, CFD и тепловых) позволяет выявить фундаментальные физические причины улучшения характеристик двигателя при использовании регулируемого ВНА.

Результаты численного моделирования подтвердили теоретическую гипотезу о несогласованности штатной проточной части компрессора ТКР 6.1 с вектором скорости потока на номинальном режиме.

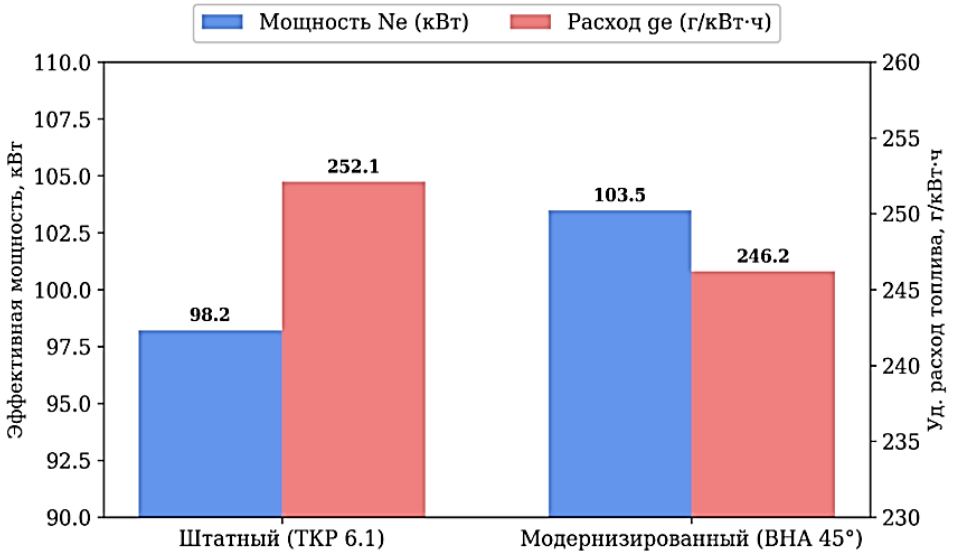


Рисунок 4 – Сравнительная характеристика показателей двигателя

Расчетное значение угла атаки $i \approx +13°$ (Таблица 3) полностью коррелирует с зонами высокой диссипации кинетической энергии, выявленными на CFD-визуализации (рисунок 3 а). Это доказывает, что основной причиной потерь в серийном узле является не профильное сопротивление лопаток, а именно ударные потери на входе [8, с.272].

Доказано, что принудительная закрутка потока на угол $\alpha_{vna} = 45^{\circ}$ является эффективным инструментом адаптации треугольника скоростей. Совпадение зоны минимального угла атаки ($i \approx +4^{\circ}$) с зоной максимального адиабатического КПД ($\eta_{ad} = 0.79$) свидетельствует о высокой точности проведенных расчетов.

Важным научным результатом исследования является разрешение противоречия между степенью сжатия и эффективностью наполнения.

Традиционные методы форсирования дизелей предполагают увеличение давления наддува (P_k). Однако наше моделирование показало, что установка ВНА приводит к снижению P_k на 3.8% (с 1.82 до 1.75). С точки зрения формальной логики, это могло бы считаться ухудшением характеристик.

Однако анализ теплового состояния заряда показывает, что фактическая плотность воздуха (ρ_k) выросла. Это объясняется доминирующим влиянием адиабатического КПД: снижение температуры заряда на 16.7°C оказывает большее влияние на плотность газа, чем незначительное падение давления.

Данный факт подтверждает положения работы [2, с.186] о том, что для современных дизелей "качественное" наполнение (холодным воздухом) термодинамически выгоднее "количественного" (высоким давлением).

Интеграция полученных данных в тепловой расчет двигателя выявила положительный эффект.

Во-первых, произошёл рост индикаторного КПД. А это значит, что более холодный воздух на впуске снижает среднюю температуру цикла, что уменьшает тепловые потери в стенки цилиндра и снижает выбросы NO_x (хотя расчет экологических показателей не входил в задачи данной работы, этот тренд очевиден из физики процесса).

Во-вторых, началось снижение механических потерь. Уменьшение работы сжатия компрессора (L_{ad}) на 20% означает снижение противодавления на выпуске. Это улучшает продувку цилиндров и увеличивает насосный ход поршня, что вносит вклад в снижение удельного расхода топлива на 2.4%.

В итоге, результаты подтверждают работоспособность технического решения, предложенного в патенте [4, с.1], и обосновывают целесообразность его применения для модернизации системы воздухоснабжения двигателя.

Заключение. В результате проведенного исследования установлено, что оптимизация угла установки лопаток входного направляющего аппарата является эффективным способом повышения энергетической эффективности турбокомпрессора дизельного двигателя ММЗ Д-245.9. Выполненные расчеты кинематики потока показали, что штатная конструкция компрессора характеризуется повышенным углом атаки, вызывающим значительные газодинамические потери и ухудшение условий обтекания рабочих лопаток.

Результаты численного моделирования подтвердили, что изменение угла предварительной закрутки воздуха обеспечивает снижение интенсивности турбулентных зон и формирование более устойчивой структуры течения в межлопаточных каналах. Наиболее эффективный режим достигается при угле установки ВНА 45°, при котором обеспечивается минимальный угол атаки и максимальный адиабатический КПД компрессора. Полученные результаты полностью согласуются с расчетными зависимостями, что подтверждает корректность разработанной математической модели и выбранного подхода к оптимизации.

Тепловой расчет двигателя показал, что повышение адиабатического КПД компрессора сопровождается снижением температуры наддувочного воздуха, увеличением плотности воздушного заряда, ростом эффективной мощности двигателя на 5,4 % и уменьшением удельного расхода топлива на 2,4 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что повышение эффективности процесса воздухоснабжения достигается не за счет увеличения степени наддува, а благодаря более рациональной организации течения воздуха и снижению газодинамических потерь.

Таким образом, предложенный метод оптимизации угла установки лопаток входного направляющего аппарата обладает высокой практической ценностью для модернизации серийных турбокомпрессоров дизельных двигателей сельскохозяйственной техники. Разработанный подход может быть использован при проектировании и совершенствовании систем газотурбинного наддува без существенного изменения конструкции двигателя.

Перспективы дальнейших исследований связаны с проведением экспериментальных стендовых и эксплуатационных испытаний модернизированного турбокомпрессора, уточнением оптимальных параметров регулирования для различных режимов работы двигателя, а также комплексной оценкой влияния предложенного технического решения на экологические показатели, долговечность элементов системы наддува и эффективность работы дизельных двигателей сельскохозяйственной техники в реальных условиях эксплуатации.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Минский моторный завод. Руководство по эксплуатации двигателя Д-245.9 Е4** [Текст]. – Минск: ММЗ, 2020. – 120 с.

2. **Hiereth H., Prenninger P. Charging the Internal Combustion Engine** [Text]. – Berlin: Springer Science & Business Media, 2007. – 276 p.

3. **Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals** [Text]: 2nd ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2018. – 1056 p.

4. **Белоусов А. Н., Новиков А. С., Серебрянников А. В. Центробежный компрессор** [Текст]: пат. РФ № 2293220 C2; заявл. 2005; опубл. 2007 / Федеральная служба по интеллектуальной собственности.

5. **Кукис В. С. Дизели с турбонаддувом** [Текст]: учеб. пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 288 с.

6. **Турбоком. Каталог продукции завода «Турбоком»** [Текст]. – Мелитополь, 2019. – 64 с.

7. **Watson N., Janota M. S. Turbocharging the Internal Combustion Engine** [Text]. – London: Macmillan Press, 1982. – 362 p.

8. **Aungier R. H. Centrifugal Compressors: A Strategy for Aerodynamic Design and Analysis** [Text]. – New York: ASME Press, 2000. – 448 p.

9. **Stanitz J. D. Some theoretical aerodynamic investigations of impellers in radial- and mixed-flow centrifugal compressors** [Text] // NASA Technical Note 2464. – Washington, 1952. – 78 p.

10. **Menter F. R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications** [Text] // AIAA Journal. – 1994. – Vol. 32, No. 8. – P. 1598–1605.

11. **Колчин А. И., Демидов В. П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей** [Текст]: учеб. пособие для вузов. – 4-е изд. – М.: Высшая школа, 2008. – 496 с.

REFERENCES:

1. **Minskij motorny'j zavod. Rukovodstvo po e'kspluatacii dvigatelya D-245.9 E4** [Minsk engine plant. Operating manual for the D-245.9 E4 engine]. Minsk, MMZ, 2020, 120 p. (In Russian)

2. **Hiereth H., Prenninger P. Charging the Internal Combustion Engine.** Berlin, Springer Science & Business Media, 2007, 276 p.

3. **Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals.** 2nd ed. New York, McGraw-Hill Education, 2018, 1056 p.

4. **Belousov A.N., Novikov A.S., Serebryannikov A.V. Centrobezhny'j kompressor** [Centrifugal compressor]. Patent RF no. 2293220 C2, application 2005, publication 2007, Federal Service for Intellectual Property. (In Russian)

5. **Kukis V.S. Dizeli s turbonadduvom** [Turbocharged diesel engines]. Moscow, Infra-Inzheneriya, 2014, 288 p. (In Russian)

6. **Turbokom. Katalog produkcii zavoda «Turbokom»** [Turbokom factory product catalogue]. Melitopol, 2019, 64 p. (In Russian)

7. **Watson N., Janota M.S. Turbocharging the Internal Combustion Engine**. London, Macmillan Press, 1982, 362 p.

8. **Aungier R.H. Centrifugal compressors: a strategy for aerodynamic design and analysis.** New York, ASME Press, 2000, 448 p.

9. **Stanitz J.D. Some theoretical aerodynamic investigations of impellers in radial- and mixed-flow centrifugal compressors.** NASA Technical Note 2464, Washington, 1952, 78 p.

10. **Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications.** *AIAA Journal*, 1994, vol. 32, no. 8, pp. 1598–1605.

11. **Kolchin A.I., Demidov V.P. Raschet avtomobil'ny'h i traktorny'h dvigatelej** [Calculation for automobile and tractor engines]. Moscow, Vy'sshaya shkola, 2008, 496 p. (In Russian)

Дата поступления: 27 марта 2026 г. **Принято:** 20 августа 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Рустембаев Арман Базарханович – доктор философии (PhD), заведующий кафедрой транспортная техника и технологии, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010011, г. Астана, пр. Женис, 62, тел.: 87026666837, e-mail: rustem.arman88@gmail.com.

Тунников Артем Алексеевич – магистрант кафедры транспортной техники и технологий, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», Республика Казахстан, 010011, г. Астана, пр. Женис, 62, тел.: 87057549698, e-mail: artem020992@mail.ru.

Кравченко Руслан Иванович – доктор философии (PhD), заведующий кафедрой аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28, корпус 3, тел.: 87029298576, e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru.

Золотухин Евгений Александрович – доктор философии (PhD), ассоциированный профессор кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени*

Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28, корпус 3, тел.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.

Рустембаев Арман Базарханович – философия докторы (PhD), Инжиниринг және азық-түлік технологиялар институт директорының ғылыми-зерттеу жұмыстары және интернационалдандыру жөніндегі орынбасары, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қ., Жеңіс даңғ, 62, тел.: 87026666837, e-mail: rustem.arman88@gmail.com.

Тунников Артем Алексеевич – көлік техникасы және технология кафедрасының магистранты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қ., Жеңіс даңғ, 62, тел.: 87057549698, e-mail: artem020992@mail.ru.

Кравченко Руслан Иванович – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының меңгерушісі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28, 3 ғимарат, тел. 87029298576, e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru.

Золотухин Евгений Александрович – философия докторы (PhD), аграрлық техника және көлік кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28, 3 ғимарат, тел.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.*

Rustembayev Arman Bazarkhanovich – PhD, Deputy Director for Research Work and Internationalization of the Institute of Engineering and Food Technologies, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010011, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87026666837, e-mail: rustem.arman88@gmail.com.

Tunnikov Artyom Alexseyevich – Master's student, Department of transport equipment and technologies, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010011, Astana, 62 Zhenis Ave., tel.: 87057549698, e-mail: artem020992@mail.ru.

Kravchenko Ruslan Ivanovich – PhD, Head of the Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28 Abai Ave., bld. 3, tel.: 87029298576, e-mail: ruslan_kravchenko_15@mail.ru.

Zolotukhin Yevgeniy Alexandrovich – PhD, Associate Professor, Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28 Abai Ave., bld. 3, tel.: 87771390747, e-mail: zolotukhine17@mail.ru.*

МРНТИ 34.27.17
УДК 579.64
https://doi.org/10.52269/SEPT2631213

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТОПАТОГЕНОВ КАРТОФЕЛЯ В КАРАГАНДИНСКОЙ И АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТЯХ КАЗАХСТАНА

Смагулова А.М. – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», г. Астана, Республика Казахстан.*

Киян В.С. – PhD, профессор заведующий Лабораторией биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», г. Астана, Республика Казахстан.

Уахит Р.С. – PhD, старший научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», г. Астана, Республика Казахстан.

Богатко Д.В. – магистрант 2 курса специальности 7М05104 – Общая и прикладная биотехнология, кафедры биотехнологии и микробиологии, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Астана, Республика Казахстан.

Картофель (Solanum tuberosum L.) является одной из важнейших сельскохозяйственных культур Казахстана, однако его продуктивность существенно ограничивается воздействием комплекса фитопатогенных организмов. Целью настоящего исследования являлось изучение разнообразия грибных, бактериальных патогенов и фитонематод, ассоциированных с клубнями картофеля, отобранными в Акмолинской и Карагандинской областях. Задачи: в рамках работы были проведены отбор и фитопатологический анализ клубней различных сортов картофеля, выделение и культивирование микроорганизмов методом первичного посева на питательные среды, получение чистых культур патогенов, их морфологическая и микроскопическая идентификация, а также молекулярно-генетический анализ выделенных изолятов с целью их видовой идентификации. Проведена оценка частоты встречаемости выявленных фитопатогенов в зависимости от сортовой принадлежно-

сти исследуемых образцов. В работе была проанализирована 21 проба, представленная 10 сортами картофеля, с использованием классических микробиологических, микроскопических и молекулярно-генетических методов. Первичный посев на картофельно-глюкозный агар выявил сложные микробные ассоциации, включающие бактерии и микромицеты. Чистые культуры были выделены и идентифицированы на основании морфологических и микроскопических признаков. Их видовая принадлежность была подтверждена молекулярно-генетической идентификацией по последовательностям ITS-региона рибосомальной ДНК грибов и гена 16S rRNA бактерий. Установлено, что доминирующими патогенами являлись представители родов Fusarium spp. (до 95%) и Rhizopus spp. (до 50%), тогда как Alternaria alternata (до 25%), Colletotrichum coccodes (до 25%), Phytophthora spp. (до 20%) и Erwinia spp. (до 15%) встречались реже. Результаты секвенирования подтвердили присутствие Fusarium solani, Rhizopus stolonifer, Alternaria alternata, Colletotrichum coccodes и Erwinia chrysanthemi. Дополнительно в образцах сортов гала, Вега, Мия и Аризона выявлены фитонематоды, морфологически соответствующие Ditylenchus destructor. Установлено, что наибольшая степень инвазии наблюдалась у сорта Аризона, средний уровень – у сорта гала, тогда как у сортов Вега и Мия уровень заражения был минимальным. Полученные результаты свидетельствуют о комплексной природе поражения картофеля с преобладанием грибной этиологии и значимой ролью фитонематод в повреждении тканей и развитии вторичной инфекции.

Ключевые слова: *картофель, бактериальная обсемененность, грибная обсемененность, фитонематоды, фитосанитарный анализ.*

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚАРАҒАНДЫ ЖӘНЕ АҚМОЛА ОБЛЫСТАРЫНДАҒЫ КАРТОП ФИТОПАТОГЕНДЕРІН КЕШЕНДІ ЗЕРТТЕУ

Смагулова А.М. – биология ғылымдарының кандидаты, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының аға ғылыми қызметкері, Астана қ., Қазақстан Республикасы.*

Киян В.С. – PhD, профессор, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының меңгерушісі, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Уахит Р.С. – PhD, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының аға ғылыми қызметкері, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Богатко Д.В. – 7М05104 «Жалпы және қолданбалы биотехнология» мамандығының 2-курс магистранты, «Биотехнология және микробиология» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы.

Картоп (Solanum tuberosum L.) Қазақстандағы маңызды ауыл шаруашылығы дақылдарының бірі, алайда оның өнімділігі фитопатогенді организмдердің әсерінен едәуір төмендейді. Зерттеудің мақсаты Ақмола және Қарағанды облыстарынан жиналған картоп түйнектерімен байланысқан саңырауқұлақ, бактериялық патогендер мен фитонематодтардың алуантүрлілігін зерттеу болды. Міндеттері: картоптың әртүрлі сұрыптарының түйнектеріне фитопатологиялық талдау жүргізу, микроорганизмдерді бөліп алу және өсіру, таза дақылдар алу, оларды морфологиялық, микроскопиялық және молекулалық-генетикалық әдістермен идентификациялау, сондай-ақ фитопатогендердің кездесу жиілігін бағалау. Картоптың 10 сортына жататын 21 үлгі микробиологиялық, микроскопиялық және молекулалық-генетикалық әдістермен талданды. Картоп-глюкозалы агарға алғашқы себу барысында бактериялар мен микромицеттерден тұратын микробтық ассоциациялар анықталды. Бөлініп алынған таза дақылдардың түрлік тиістілігі саңырауқұлақтардың рибосомалық ДНҚ-сының ITS-аймағы және бактериялардың 16S rRNA гені бойынша секвенирлеу арқылы расталды. Басым патогендер Fusarium spp. (95%-ға дейін) және Rhizopus spp. (50%-ға дейін) болды, ал Alternaria alternata (25%-ға дейін), Colletotrichum coccodes (25%-ға дейін), Phytophthora spp. (20%-ға дейін) және Erwinia spp. (15%-ға дейін) сирек кездесті. Секвенирлеу Fusarium solani, Rhizopus stolonifer, Alternaria alternata, Colletotrichum coccodes және Erwinia chrysanthemi түрлерін растады. Гала, Вега, Мия және Аризона сорттарынан Ditylenchus destructor ретінде морфологиялық анықталған фитонематодтар табылды, инвазияның ең жоғары деңгейі Аризона сортында байқалды. Нәтижелер картоп зақымдануының кешенді сипатын, саңырауқұлақ патогендерінің басымдығын және фитонематодтардың ұлпа зақымдануы мен екінші реттік инфекциялардың дамуындағы маңызды рөлін көрсетті.

Түйінді сөздер: *картоп, бактериялық ластану, саңырауқұлақтық ластану, фитонематодтар, фитосанитарлық талдау.*

COMPREHENSIVE STUDY OF POTATO PHYTOPATHOGENS IN THE KARAGANDA AND AKMOLA REGIONS OF KAZAKHSTAN

Smagulova A.M. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.*

Kiyan V.S. – PhD, Professor, Head of the Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Uakhit R.S. – PhD, Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Astana, Republic of Kazakhstan.

Bogatko D.V. – 2nd-year Master's student, "7M05104 – General and Applied Biotechnology" educational program, Department of biotechnology and microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan.

Potato (Solanum tuberosum L.) is one of the most important agricultural crops in Kazakhstan; however, its productivity is substantially limited by phytopathogenic organisms. The aim of this study was to investigate the diversity of fungal and bacterial pathogens and phytonematodes associated with potato tubers collected from the Akmola and Karaganda regions. The objectives included the sampling and phytopathological analysis of tubers from various potato varieties, the isolation and cultivation of microorganisms via primary inoculation on nutrient media, the acquisition of pure pathogen cultures, their morphological and microscopic identification, as well as molecular genetic analysis of the isolated strains for species-level identification. The frequency of occurrence of the identified phytopathogens was assessed depending on the varietal affiliation of the studied samples. A total of 21 samples representing 10 potato cultivars were analyzed using conventional microbiological, microscopic, and molecular genetic methods. Pure cultures were isolated and identified based on morphological and microscopic characteristics. Their species identity was confirmed by molecular genetic identification using ITS region sequences of fungal ribosomal DNA and the 16S rRNA gene of bacteria. The dominant pathogens were Fusarium spp. (up to 95%) and Rhizopus spp. (up to 50%), while Alternaria alternata (up to 25%), Colletotrichum coccodes (up to 25%), Phytophthora spp. (up to 20%), and Erwinia spp. (up to 15%) occurred less frequently. The sequencing results confirmed the presence of Fusarium solani, Rhizopus stolonifer, Alternaria alternata, Colletotrichum coccodes, and Erwinia chrysanthemi. Additionally, phytonematodes morphologically consistent with Ditylenchus destructor were detected in samples of the Gala, Vega, Miya, and Arizona cultivars. It was established that the highest level of infestation was observed in the Arizona cultivar, a moderate level in the Gala cultivar, while the Vega and Miya cultivars exhibited minimal infection. The obtained results indicate the complex nature of potato damage, with a predominance of fungal etiology and a significant role of phytonematodes in tissue damage and the development of secondary infection.

Keywords: *potato, bacterial contamination, fungal contamination, phytonematodes, phytosanitary analysis.*

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – одна из важнейших продовольственных культур в мире, занимающая одно из ведущих мест среди основных сельскохозяйственных культур по объему производства и потребления. Однако его урожайность значительно ограничивается широким спектром фитопатогенов, включая грибы, оомицеты, бактерии, вирусы и нематоды, что может привести к серьезным экономическим потерям и угрожать продовольственной безопасности. Среди них наиболее разрушительными считаются грибковые и грибоподобные патогены из-за их быстрого распространения и высокой адаптивности к условиям окружающей среды [1, с. 5; 2 с. 21].

Одной из самых разрушительных болезней, поражающих картофель во всем мире, является фитофтороз, вызываемый *Phytophthora infestans*. Этот патоген является причиной исторических неурожаев и продолжает вызывать ежегодные потери урожая примерно на 10-15% во всем мире. Болезнь быстро развивается в прохладных и влажных условиях, приводя к уничтожению листьев и клубней, и остается серьезной проблемой для устойчивого производства картофеля [3, с. 561; 4, с. 47]. Помимо фитофтороза, в картофелеводческих регионах широко распространен ранний фитофтороз, вызываемый видами рода *Alternaria*, в частности *Alternaria solani*, который приводит к преждевременному опаданию листьев и снижению урожайности клубней. К другим важным грибковым патогенам относятся виды *Fusarium*, *Rhizoctonia* и *Helminthosporium*, которые поражают как полевые культуры, так и качество хранения [5, с. 8; 6, с. 54].

В последние годы все больше внимания уделяется роли фитопатогенных комплексов, когда несколько патогенов одновременно поражают картофельные растения, усугубляя тяжесть заболевания и осложняя диагностику и стратегии борьбы. Более того, появление новых вирулентных штаммов и эволюция популяций патогенов в условиях изменения климата еще больше обостряют проблему [7, с. 212]. Современные подходы к защите растений делают упор на комплексное управление болезнями, включая устойчивые сорта, биологические средства борьбы и молекулярно-диагностические методы, такие как ПЦР-диагностика и технологии редактирования генома [8, с. 256].

В Казахстане картофель является стратегически важной культурой для обеспечения продовольственной безопасности, особенно в северных и центральных регионах, включая Акмолинскую и Карагандинскую области. Однако производство картофеля в этих районах значительно страдает от фитопатогенов. Исследования показывают, что фитофтороз и вирусные инфекции являются одними из наиболее распространенных и экономически значимых заболеваний в стране. Кроме того, карантинные организмы, такие как картофельные цистообразующие нематоды (*Globodera rostochiensis* и *G. pallida*),

могут вызывать потери урожая до 30%, представляя серьезную угрозу для сельскохозяйственной продуктивности. Несмотря на признанную важность этих патогенов, комплексные исследования, включающие морфологическую, культуральную и молекулярную идентификацию фитопатогенов картофеля в Казахстане, остаются ограниченными [9, с. 14; 10, с. 13].

Региональная изменчивость климатических условий, методов ведения сельского хозяйства и восприимчивости сортов требует локальных исследований разнообразия и распространения фитопатогенов. В частности, агроэкологические условия Акмолинской и Карагандинской областей, характеризующиеся континентальным климатом, колебаниями температуры и изменяющимся режимом влажности, создают благоприятную среду для развития и распространения как грибковых, так и оомицетных патогенов. Кроме того, предыдущие исследования в Казахстане часто фокусировались на отдельных патогенах или основывались преимущественно на морфологической идентификации, что подчеркивает необходимость комплексных подходов, сочетающих классические фитопатологические методы с современными молекулярными технологиями [11, с. 141].

Поэтому всестороннее исследование фитопатогенов картофеля в этих регионах имеет важное значение для улучшения диагностики заболеваний, понимания разнообразия патогенов и разработки эффективных стратегий борьбы. Интеграция морфологического, культурального и молекулярно-генетического анализов позволяет точно идентифицировать патогены, оценивать их патогенность и эпидемиологическое значение. Такие исследования способствуют развитию устойчивых систем защиты растений и повышению продовольственной безопасности в Казахстане [12, с. 61].

Целью настоящего исследования являлось комплексное изучение фитопатогенных микроорганизмов картофеля в Акмолинской и Карагандинской областях Казахстана.

Задачи: в рамках работы были проведены отбор и фитопатологический анализ клубней различных сортов картофеля, выделение и культивирование микроорганизмов методом первичного посева на питательные среды, получение чистых культур патогенов, их морфологическая и микроскопическая идентификация, а также оценка частоты встречаемости фитопатогенов в зависимости от сортовой принадлежности исследуемых образцов.

Материалы и методы

Объекты исследования и подготовка образцов

В исследовании использовали 21 пробу клубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.), отобранных на территории Акмолинской и Карагандинской областей Республики Казахстан. Образцы представляли 10 сортов: гала, Вега, Мия, МОА, Аризона, РС1, РС2, Коломбо, VR808 и VR800. Каждая проба включала от 15 до 20 клубней.

Перед проведением микробиологических исследований клубни подвергали предварительной обработке. Поверхность образцов тщательно промывали проточной водой для удаления механических загрязнений, после чего проводили поверхностную стерилизацию путем обработки 70% раствором этанола с последующим промыванием стерильной дистиллированной водой.

После стерилизации из тканей клубней (кожура, поражённые участки) вырезали фрагменты размером 3-5 мм, которые асептически переносили на поверхность питательных сред в чашках Петри для последующего выделения и культивирования микроорганизмов.

Выделение и культивирование микроорганизмов

Для выделения фитопатогенных микроорганизмов из образцов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) использовали стандартные микробиологические методы посева на питательные среды. Первичный посев проводили на плотную питательную среду – картофельно-глюкозный агар (Potato Dextrose Agar, PDA), широко применяемый для культивирования грибов и сопутствующей микрофлоры. Данная среда обеспечивает оптимальные условия роста за счет высокого содержания углеводов и слабокислого pH, подавляющего развитие части бактериальной микробиоты [13, с. 151].

Образцы тканей (клубни, корни, стебли) предварительно подвергали поверхностной стерилизации (70% этанол, затем стерильная вода), после чего фрагменты помещали на поверхность среды PDA в чашки Петри. Инкубацию проводили при температуре 25-28 °C в течение 3-7 суток (для бактерий) и до 7-14 суток (для грибов) с ежедневным контролем роста колоний.

Микроскопия бактерий (окраска по Граму)

Для первичной идентификации бактериальных изолятов применяли метод окраски по Граму. Из изолированных колоний готовили мазки на предметных стеклах с последующей фиксацией путем прогревания. Окрашивание проводили по классической схеме с использованием кристаллического фиолетового (основной краситель), раствора Люголя (фиксатор), спирта (деколоризатор) и сафранина (контрастный краситель).

Метод позволяет дифференцировать бактерии на грамположительные (фиолетовые) и грамотрицательные (розовые/красные) в зависимости от структуры клеточной стенки, в частности толщины слоя пептидогликана [14, с. 120]. Микроскопирование проводили при увеличении ×100 с использованием иммерсионной системы.

Микроскопия грибов

Морфологическую идентификацию грибных культур проводили методом световой микроскопии. Для приготовления препаратов использовали нативные препараты в глицерине (10-20%), который обеспечивает сохранение структуры мицелия и спор.

Небольшое количество мицелия переносили на предметное стекло, добавляли каплю глицерина и накрывали покровным стеклом. Препараты изучали при увеличениях ×100–×40. Оценивали морфологические признаки: строение мицелия, наличие перегородок, тип спороношения, форму и размеры конидий [15, с. 5].

Культивирование грибов на среде PDA и последующее микроскопическое изучение являются стандартными методами микологической диагностики, широко применяемыми для идентификации фитопатогенных грибов.

Выделение ДНК и молекулярная идентификация

Для молекулярной идентификации грибных изолятов проводили амплификацию внутреннего транскрибируемого спейсера рибосомальной ДНК (ITS-региона) с использованием универсальных праймеров ITS5 (5′-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3′) и ITS4 (5′-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3′) (Integrated DNA Technologies, США), 16SrRNA-8F (5’-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3’) и 16SrRNA-806R (5’- GGACTACCAGGGTATCTAAT-3’) (Sigma-Aldrich, USA).. Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) выполняли на амплификаторе SimpliAmp Thermal Cycler (Applied Biosystems, США). Амплификацию проводили по следующей программе: предварительная денатурация при 94 °C в течение 5 мин; далее 35 циклов, включающих денатурацию при 95 °C в течение 30 с, отжиг праймеров при 52 °C в течение 40 с и элонгацию при 72 °C в течение 50 с; заключительная элонгация проводилась при 72 °C в течение 7 мин.

Полученные ПЦР-продукты очищали от остатков праймеров, свободных дезоксинуклеотидов и других компонентов реакционной смеси методом ферментативной обработки. Для каждой пробы готовили реакционную смесь общим объемом 10 мкл, включающую: деионизированную воду – 7,25 мкл, 10× PCR Buffer – 1,0 мкл, $MgCl_2$ – 1,0 мкл, SAP (5 мМ) – 0,25 мкл и Exonuclease I (5 Ед/мкл) – 0,125 мкл. Смесь добавляли к каждому ПЦР-продукту и инкубировали в амплификаторе при следующих условиях: 37 °C – 30 мин, 85 °C – 15 мин, затем охлаждение при 4 °C до дальнейшего использования.

Реакцию циклического секвенирования проводили с использованием набора BigDye® Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, США) в соответствии с рекомендациями производителя. Реакционную смесь готовили в тонкостенных пробирках объемом 0,2 мл. Программа секвенирования включала 30 циклов: денатурация при 96 °C в течение 20 с, отжиг при 50 °C в течение 20 с и элонгация при 60 °C в течение 4 мин с последующим охлаждением до 4 °C.

Полученные нуклеотидные последовательности депонировали в международной базе данных GenBank.

Результаты

В ходе проведённых исследований была получена и проанализирована 21 проба клубней картофеля (*Solanum tuberosum* L.), отобранных в хозяйствах Акмолинской и Карагандинской областей.

При визуальном обследовании клубней отмечены признаки поражения различной степени выраженности, включая некротические участки, изменение окраски тканей и структурные нарушения. Для детальной оценки внутреннего состояния клубни были разрезаны, что позволило выявить скрытые патологические изменения тканей. Внешний вид исследованных клубней и характер поражений в разрезе представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид исследованных клубней и характер поражений в разрезе

Представлены образцы клубней картофеля с признаками поражения различной этиологии. На поверхности клубней отмечаются участки некроза, потемнения кожуры, а также признаки микробной колонизации. В разрезе выявлены внутренние патологические изменения, включая размягчение тканей, водянистую и губчатую структуру, полости, а также участки бурой и чёрной гнили. В отдельных образцах наблюдается выраженное разрушение паренхимы с формированием микромицелиальных разрастаний, что может свидетельствовать о развитии грибной и бактериальной инфекции.

После визуальной оценки внешних и внутренних признаков поражения клубней картофеля с целью выявления возбудителей заболеваний был проведён первичный микробиологический анализ. Для этого из поражённых и условно здоровых участков клубней отбирали фрагменты тканей и осуществляли их посев на питательные среды. Первичный посев фрагментов картофеля позволил получить рост микробных ассоциаций, представленных бактериями и микромицетами. Процесс первичного посева фрагментов клубней картофеля на питательную среду представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Первичный посев фрагментов клубней картофеля на картофельно-глюкозном агаре

Наблюдается рост смешанных микробных ассоциаций, включающих бактериальные и грибные культуры. Колонии различаются по морфологическим характеристикам: форме, окраске, текстуре и скорости роста. На чашках Петри отмечается развитие обильно растущих мицелиальных колоний различной окраски (белой, серой, зелёной, желтоватой), характерных для микромицетов, а также локализованных бактериальных колоний с гладкой или слизистой поверхностью. В ряде случаев наблюдается конкурентный рост микроорганизмов и формирование зон ингибирования, что свидетельствует о межвидовых взаимодействиях в составе микробного комплекса.

Полученные результаты подтверждают наличие разнообразной фитопатогенной микробиоты в исследуемых образцах картофеля и обосновывают необходимость последующей изоляции чистых культур и их идентификации (рисунок 3).



Рисунок 3 – Морфологические особенности чистых культур микроорганизмов, выделенных из клубней картофеля, на картофельно-глюкозном агаре

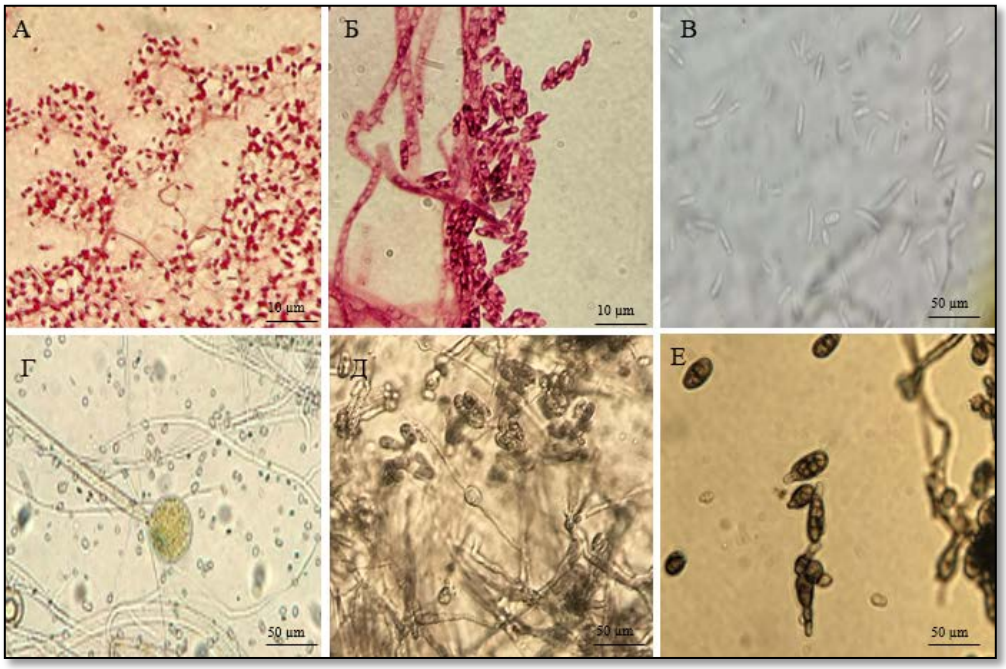
В результате пересева и выделения чистых культур из первичных микробных ассоциаций были получены изоляты со стабильными морфологическими признаками (рисунок 3). Культуры различались

по скорости роста, окраске и структуре колоний, что указывает на присутствие различных групп микромицетов и бактерий.

Грибные изоляты формировали плотные колонии с развитым мицелием белого, кремового, серого и тёмного оттенков, с вариабельной текстурой поверхности – от пушистой до бархатистой и порошковидной. В ряде случаев отмечалась зональность роста и пигментация центральной части колоний.

Также наблюдались быстрорастущие радиальные колонии и компактные формы с ограниченным ростом. Отдельные изоляты характеризовались плотными, приподнятыми колониями с гладкой поверхностью, типичными для бактериальных культур.

Микроскопическое исследование полученных изолятов подтвердило морфологические различия грибных структур (мицелий, конидии) и бактериальных клеток (рисунок 4).



А – *Erwinia* spp.; Б – *Colletotrichum coccodes;* В – *Fusarium solani;* Г – *Rhizopus spp.;* Д – *Phytophthora spp.;* Е – *Alternaria alternata*

Рисунок 4 – Микроскопические характеристики бактериальных и грибных изолятов

При микроскопическом исследовании выявлены различные морфологические типы микроорганизмов. Бактериальные клетки представлены мелкими грамотрицательными палочками размером приблизительно 0,5-1,0×1,0-3,0 мкм, располагающимися одиночно или в коротких цепочках, что характерно для фитопатогенных бактерий рода *Erwinia*.

Грибные изоляты характеризуются наличием септированных гиф толщиной 2-5 мкм и формированием конидий. У представителей типа *Colletotrichum* наблюдаются овальные или цилиндрические конидии размером около 10-20×3-5 мкм, формирующиеся на конидиеносцах.

Для *Fusarium* характерны серповидные (саблевидные) макроконидии длиной 20-50 мкм с 3-5 перегородками, а также тонкие гифы диаметром 2-4 мкм.

Представители *Rhizopus* демонстрируют широкие несептированные (коеноцитные) гифы диаметром до 10-15 мкм и шаровидные спорангии диаметром 50-150 мкм, содержащие многочисленные округлые спорангиоспоры.

Для оомицетов рода *Phytophthora* характерны разветвлённые гифы и лимоновидные или овальные спорангии размером 20-60 мкм, выполняющие функцию бесполого размножения.

У *Alternaria alternata* выявлены тёмноокрашенные, многоклеточные (муроформные) конидии размером 20-60×7-18 мкм с поперечными и продольными перегородками, часто с характерным «клювом».

С целью подтверждения результатов культурально-морфологической идентификации была проведена молекулярно-генетическая идентификация выделенных изолятов. Видовую принадлежность грибов подтверждали на основании анализа последовательностей ITS-региона рибосомальной ДНК, тогда как идентификацию бактериальных изолятов осуществляли по последовательностям гена 16S rRNA. Результаты секвенирования и последующего сравнения с последовательностями базы данных GenBank подтвердили правильность культурально-морфологической идентификации исследуемых фитопатогенов. Полученные нуклеотидные последовательности были депонированы в международной базе данных GenBank под следующими номерами: *Fusarium solani* (PZ597531), *Colletotrichum coccodes* (PZ597532), *Alternaria alternata* (PZ597533), *Rhizopus stolonifer* (PZ618367) и *Erwinia chrysanthemi* (PZ597522).

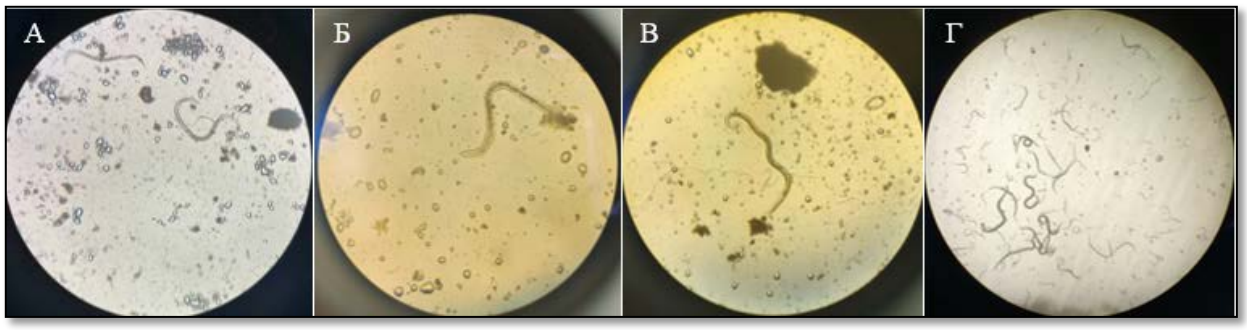
Анализ частоты встречаемости фитопатогенов показал, что наибольшее распространение среди исследованных сортов имели представители родов *Fusarium* и *Rhizopus*, тогда как бактериальные патогены (*Erwinia spp.*) и оомицеты (*Phytophthora spp.*) встречались реже (таблица 1).

Таблица 1 – Частота встречаемости фитопатогенов у различных сортов картофеля, %

Сорт картофеля	*Fusarium solani*	*Rhizopus stolonifer*	*Alternaria alternata*	*Colletotrichum coccodes*	*Phytophthora* spp.	*Erwinia chrysanthemi*
Гала	20	25	–	25	20	5
Вега	20	25	25	15	–	–
Мия	–	25	–	–	–	–
МОА	95	–	–	–	–	5
Аризона	–	40	20	–	20	5
РС1	–	40	–	–	5	–
РС2	5	10	–	–	–	–
VR 800	25	50	–	–	–	15
VR 808	10	–	–	10	10	–
Коломбо	45	–	5	–	20	5

Анализ данных показывает, что среди исследованных сортов картофеля доминируют грибные патогены, прежде всего представители родов *Fusarium* и *Rhizopus*, которые характеризуются наибольшей частотой встречаемости и широким распространением. Наиболее высокая поражённость *Fusarium spp.* отмечена у сорта МОА (95%) и Коломбо (45%), тогда как *Rhizopus spp.* преобладает у сорта VR 800 (50%), а также у РС1 и Аризона (по 40%). Представители *Alternaria spp.* и *Colletotrichum coccodes* встречаются реже и носят более ограниченный характер распространения. Оомицеты рода *Phytophthora* выявлены в умеренных количествах у отдельных сортов (Гала, Аризона, Коломбо), что указывает на их локальную роль в патогенезе. Бактериальные патогены (*Erwinia spp.*) регистрируются в низкой концентрации (до 15%), преимущественно в сочетании с грибной инфекцией. В целом полученные данные свидетельствуют о преобладании грибной этиологии заболеваний картофеля в исследуемых регионах с вариабельной восприимчивостью сортов к различным патогенам.

После визуальной оценки и анализа внутренних тканей клубней установлено, что наряду с бактериальными и грибными поражениями в ряде образцов выявлено присутствие фитопаразитических нематод. В частности, в образцах сортов: Гала, Вега, Мия и Аризона обнаружены особи, морфологически соответствующие *Ditylenchus destructor* (рисунок 5).



А – Гала; Б – Вега; В – Мия; Г – Аризона
Рисунок 5 – Микроскопическое выявление фитонематод (*Ditylenchus destructor*) в клубнях картофеля различных сортов

После микроскопического исследования установлено, что степень инвазии фитонематод варьирует в зависимости от сорта картофеля. Наибольшее количество особей *Ditylenchus destructor* отмечено в образцах сорта Аризона, что свидетельствует о высокой степени поражённости. У сорта Гала наблюдался средний уровень инвазии. В то же время в образцах сортов Вега и Мия регистрировалось значительно меньшее количество нематод, что указывает на более низкую степень заражения.

Полученные данные свидетельствуют о различной восприимчивости сортов картофеля к поражению фитонематодами.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что поражение клубней картофеля в Акмолинской и Карагандинской областях носит комплексный характер с доминированием грибной микобиоты, прежде всего представителей *Fusarium* spp. и *Rhizopus* spp. Высокая частота встречаемости *Fusarium* spp., особенно у сорта МОА (95%), согласуется с современными исследованиями, согласно которым виды рода *Fusarium* являются основными возбудителями сухой гнили картофеля как в поле, так и в период хранения. Gavrilova

et al. отмечают, что представители комплекса *Fusarium solani* активно колонизируют поврежденные клубни и способны вызывать значительное ухудшение качества продукции [16, с. 10]. Аналогично Li et al. и Tiwari et al. указывают, что *Fusarium dry rot* сопровождается разрушением тканей клубня и снижением его пищевой и семенной ценности [17, с. 7; 18, с. 11]. Высокая встречаемость *Rhizopus* spp. у сортов VR 800, PC1 и Аризона также подтверждает важную роль быстроразвивающихся мягких гнилей в послеуборочный период. По данным Amadioha, интенсивность развития *Rhizopus*-ассоциированных гнилей тесно связана с механическими повреждениями клубней и нарушением условий хранения [19, с. 312].

Выявление *Alternaria alternata* и *Colletotrichum coccodes* свидетельствует об участии некротрофных грибов в формировании смешанных инфекций картофеля. В исследовании Schmey et al. показано, что *Alternaria* spp. являются важным компонентом патогенного комплекса картофеля и способны усиливать поражение ослабленных тканей [20, с. 5]. В свою очередь Lees и Hilton рассматривают *Colletotrichum coccodes* как возбудителя черной точки картофеля, вызывающего поверхностные и внутренние повреждения клубней, особенно при стрессовых условиях выращивания и хранения [21, с. 7]. Дополнительно Massana-Codina et al. подчеркивают, что устойчивость картофеля к *C. coccodes* имеет количественный характер и существенно варьирует между сортами [22, с. 8], что согласуется с нашими результатами, где степень пораженности патогенами различалась в зависимости от сортовой принадлежности.

Наличие *Phytophthora* spp. в образцах гала, Аризона и Коломбо подтверждает потенциальную роль фитофторозной инфекции в исследуемых регионах. Хотя частота встречаемости оомицетов была ниже по сравнению с *Fusarium* spp., их присутствие указывает на сохранение риска фитофтороза в условиях переменной влажности и континентального климата. Обнаружение грамотрицательных бактерий, морфологически соответствующих *Erwinia* spp., также свидетельствует о развитии вторичной бактериальной инфекции. Czajkowski et al. отмечают, что бактерии комплексов *Pectobacterium*/ *Dickeya* часто сопровождают грибные поражения клубней и вызывают мягкие гнили при хранении [23, с. 22]. Таким образом, бактериальные патогены в исследуемых образцах, вероятно, выступают как вторичный компонент фитопатогенного комплекса.

Особое значение имеет выявление фитонематод, морфологически соответствующих *Ditylenchus destructor*, у сортов гала, Вега, Мия и Аризона. Наибольшая степень инвазии у сорта Аризона сопровождалась высокой встречаемостью грибных и бактериальных патогенов, что может указывать на синергизм между фитонематодами и микробной инфекцией. Согласно данным Song et al., D. destructor является одним из наиболее опасных паразитов клубнеплодных культур, повреждающим ткани клубней и способствующим развитию вторичных инфекций [24, с. 4]. Аналогичные сведения представлены в базе CABI, где данный вид рассматривается как важный фактор формирования смешанных гнилей картофеля [25, с. 8]. В целом результаты исследования подтверждают, что фитопатогенный комплекс картофеля в исследуемых регионах формируется под влиянием сочетанного действия грибов, бактерий и фитонематод, а различия между сортами отражают неодинаковую степень их устойчивости к патогенам.

Заключение

В результате проведённого исследования установлено, что фитопатогенный комплекс картофеля в Акмолинской и Карагандинской областях характеризуется высоким разнообразием и доминированием грибных патогенов. Основную роль в поражении клубней играют представители родов *Fusarium* и *Rhizopus*, тогда как *Alternaria*, *Colletotrichum*, *Phytophthora* и бактериальные патогены (*Erwinia spp.*) встречаются реже и, как правило, сопровождают основные инфекционные процессы.

Дополнительно установлено присутствие фитопаразитических нематод, морфологически идентифицированных как *Ditylenchus destructor*, в образцах сортов гала, Вега, Мия и Аризона. Наибольшая степень инвазии отмечена у сорта Аризона, средний уровень – у сорта гала, тогда как минимальная заражённость выявлена у сортов Вега и Мия. Обнаружение нематод в тканях клубней указывает на их значимую роль в формировании патологических изменений, включая разрыхление тканей и создание условий для развития вторичной грибной и бактериальной инфекции.

Молекулярно-генетическая идентификация на основе анализа ITS-региона рибосомальной ДНК грибов и гена 16S rRNA бактерий полностью подтвердила результаты культурально-морфологической идентификации. Секвенирование позволило достоверно идентифицировать изоляты *Fusarium solani*, *Rhizopus stolonifer*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum coccodes* и *Erwinia chrysanthemi*, а полученные нуклеотидные последовательности были депонированы в международной базе данных GenBank.

Таким образом, полученные результаты подтверждают комплексный характер поражения картофеля, обусловленный взаимодействием грибных, бактериальных патогенов и фитонематод. Комплексное применение культурально-морфологических и молекулярно-генетических методов позволило достоверно установить видовой состав основных возбудителей заболеваний картофеля в исследуемых регионах Казахстана. Выявленные различия в степени поражённости между сортами свидетельствуют об их неодинаковой восприимчивости к фитопатогенам, что подчёркивает необходимость дальнейших исследований, направленных на оценку устойчивости сортов и разработку эффективных мер фитосанитарного контроля.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Kvasko O., Kolomiiets Y., Buziashvili A., Yemets A. Biotechnological approaches to increase the bacterial and fungal disease resistance in potato** [Текст] / O. Kvasko, Y. Kolomiiets, A. Buziashvili, A. Yemets // The Open Agriculture Journal. – 2022. – Vol. 16. – No. 1. – P. e2210070. – DOI: 10.2174/18743315-v16-e2210070.

2. **Alshimaysawe U.A.A.A.A., Mohammed A.E., Ali S.M., Al-Gburi B.K.H., Al-Fallooji S.A.K. Controlling stem canker and black scurf disease complex on potato plants using Trichoderma isolates** [Текст] / U.A.A.A.A. Alshimaysawe, A.E. Mohammed, S.M. Ali, B.K.H. Al-Gburi, S.A.K. Al-Fallooji // Pakistan Journal of Phytopathology. – 2024. – Vol. 36. – No. 1. – P. 19–27. – DOI: 10.33866/phytopathol.036.01.0972.

3. **Andrivon D., Avendaño-Córcoles J., Cameron A.M. et al. Stability and variability of virulence of Phytophthora infestans assessed in a ring test across European laboratories** [Текст] / D. Andrivon, J. Avendaño-Córcoles, A.M. Cameron et al. // Plant Pathology. – 2011. – Vol. 60. – P. 556–565. – DOI: 10.1111/j.1365-3059.2010.02392. x.

4. **Runno-Paurson E., Hansen M., Kotkas K., Williams I.H., Niinemets Ü., Einola A. Evaluation of late blight foliar resistance of potato cultivars in northern Baltic conditions** [Текст] / E. Runno-Paurson, M. Hansen, K. Kotkas, I.H. Williams, Ü. Niinemets, A. Einola // Zemdirbyste. – 2019. – Vol. 106. – No. 1. – P. 45–52. – DOI: 10.13080/z-a.2019.106.006.

5. **Nowicki M., Foolad M.R., Nowakowska M., Kozik E.U. Potato and tomato late blight caused by Phytophthora infestans: an overview of pathology and resistance breeding** [Текст] / M. Nowicki, M.R. Foolad, M. Nowakowska, E.U. Kozik // Plant Disease. – 2012. – Vol. 96. – No. 1. – P. 4–17. – DOI: 10.1094/PDIS-05-11-0458.

6. **Solomiichuk M., Pikovskyi M. Biological control of Alternaria and late blight of potatoes** [Текст] / M. Solomiichuk, M. Pikovskyi // Plant and Soil Science. – 2025. – Vol. 16. – No. 1. – P. 52–60. – DOI: 10.31548/plant1.2025.52.

7. **Glazebrook J. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens** [Текст] / J. Glazebrook // Annual Review of Phytopathology. – 2005. – Vol. 43. – P. 205–227. – DOI: 10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923.

8. **Mullins E., Milbourne D., Petti C., Doyle-Prestwich B.M., Meade C. Potato in the age of biotechnology** [Текст] / E. Mullins, D. Milbourne, C. Petti, B.M. Doyle-Prestwich, C. Meade // Trends in Plant Science. – 2006. – Vol. 11. – No. 5. – P. 254–260. – DOI: 10.1016/j.tplants.2006.03.002.

9. **Adilbayeva K., Moisseyev R., Kolchenko M. et al. Genetic evaluation of Kazakhstani potato germplasm for pathogen and pest resistance using DNA markers** [Текст] / K. Adilbayeva, R. Moisseyev, M. Kolchenko et al. // Agronomy. – 2024. – Vol. 14. – No. 9. – P. 1923. – DOI: 10.3390/agronomy14091923.

10. **Yessimseitova A., Abdrakhmanova A., Tokbergenova Z. et al. Identification and characterization of Alternaria species causing early blight on tomato in Kazakhstan** [Текст] / A. Yessimseitova, A. Abdrakhmanova, Z. Tokbergenova et al. // Agronomy. – 2025. – Vol. 15. – No. 5. – P. 1251. – DOI: 10.3390/agronomy15051251.

11. **Муранец А.П., Жаныбекова Ж.Т., Рыскельдина А.Ж., Какимжанова А.А. Изучение микромицетов, выделенных из клубней картофеля, пораженных сухой гнилью в Казахстане** [Текст] / А.П. Муранец, Ж.Т. Жаныбекова, А.Ж. Рыскельдина, А.А. Какимжанова // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина: Междисциплинарный. – 2025. – No. 3 (127). – С. 138–153. – DOI: 10.51452/kazatu.2025.3(127).2016.

12. **Хасанов В.Т., Екатеринская Е.М., Сидорик А.И. и др. Сравнительная оценка новых сортов и селекционных образцов картофеля с пигментированной мякотью клубней в условиях Костанайской области** [Текст] / В.Т. Хасанов, Е.М. Екатеринская, А.И. Сидорик и др. // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина: Междисциплинарный. – 2025. – No. 2 (125). – С. 54–74. – DOI: 10.51452/kazatu.2025.2(125).1882.

13. **Tang Y.W., Stratton C.W. Advanced techniques in diagnostic microbiology** [Текст] / Y.W. Tang, C.W. Stratton. – New York: Springer, 2013. – P. 151–152.

14. **Smith A.C., Hussey M.A. Gram stain protocols** [Текст] / A.C. Smith, M.A. Hussey // American Society for Microbiology. – 2005. – Vol. 1. – No. 14. – P. 113–144.

15. **Skiada V., Papadopoulou K.K. Closed systems to study plant-filamentous fungi associations: emphasis on microscopic analyses** [Текст] / V. Skiada, K.K. Papadopoulou // Bio-protocol. – 2025. – Vol. 15. – No. 4. – P. e5186. – DOI: 10.21769/BioProtoc.5186.

16. **Gavrilova O., Orina A., Trubin I., Gagkaeva T. Identification and pathogenicity of Fusarium fungi associated with dry rot of potato tubers** [Текст] / O. Gavrilova, A. Orina, I. Trubin, T. Gagkaeva // Microorganisms. – 2024. – Vol. 12. – No. 3. – P. 598. – DOI: 10.3390/microorganisms12030598.

17. **Fenglan Li, Xianfeng Jiang, Meili Sun et al. Screening of culture conditions for pathogens of potato dry rot** [Текст] / F. Li, X. Zhang, L. Zhao // Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science. – 2014. – Vol. 64. – P. 1–8. – DOI: 10.1080/09064710.2014.953988.

18. **Tiwari R.K., Kumar R., Sharma S., Sagar V., Aggarwal R. Impact of Fusarium dry rot on physicochemical attributes of potato tubers** [Текст] / R.K. Tiwari, R. Kumar, S. Sharma et al. // Postharvest Biology and Technology. – 2021. – Vol. 181. – P. 111638. – DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111638.

19. **Amadioha A.C. Control of storage rot of potato caused by Rhizopus oryzae** [Текст] / A.C. Amadioha // International Journal of Pest Management. – 1996. – Vol. 42. – No. 4. – P. 311–314. – DOI: 10.1080/09670879609372011.

20. **Schmey T., Horbach R., Deising H.B. Alternaria diseases on potato and tomato** [Текст] / T. Schmey, R. Horbach, H.B. Deising // Molecular Plant Pathology. – 2024. – Vol. 25. – P. e13484. – DOI: 10.1111/mpp.13435.

21. **Lees A.K., Hilton A.J. Insights on the structural and metabolic resistance of potato (Solanum tuberosum) cultivars to tuber black dot (Colletotrichum coccodes)** [Текст] / A.K. Lees, A.J. Hilton // Plant Pathology. – 2003. – Vol. 52. – No. 1. – P. 3–12. – DOI: 10.1046/j.1365-3059.2003.00793.x.

22. **Massana-Codina J., Schnee S., Allard P.M. et al. Insights on the structural and metabolic resistance of potato cultivars to tuber black dot (Colletotrichum coccodes)** [Текст] / J. Massana-Codina, S. Schnee, P.M. Allard et al. // Frontiers in Plant Science. – 2020. – Vol. 11. – P. 1287. – DOI: 10.3389/fpls.2020.01287.

23. **Czajkowski R., Pérombelon M.C.M., van Veen J.A., van der Wolf J.M. Detection, identification and differentiation of Pectobacterium and Dickeya species causing potato blackleg and tuber soft rot: a review** [Текст] / R. Czajkowski, M.C.M. Pérombelon, J.A. van Veen, J.M. van der Wolf // Annals of Applied Biology. – 2015. – Vol. 166. – No. 1. – P. 18–38. – DOI: 10.1111/aab.12166.

24. **Song W., Peng D., Huang W. et al. Diagnosis and characterization of Ditylenchus destructor populations associated with tuber crops** [Текст] / W. Song, D. Peng, W. Huang et al. // Pathogens. – 2023. – Vol. 12. – No. 8. – P. 1032. – DOI: 10.3390/life13081758.

25. **CABI. Ditylenchus destructor (potato tuber nematode)** [Электронный ресурс] / CABI // CABI Compendium. – 2021. – DOI: 10.1079/cabicompendium.19286.

REFERENCES:

1. **Kvasko O., Kolomiiets Y., Buziashvili A., et al. Biotechnological approaches to increase the bacterial and fungal disease resistance in potato.** *The Open Agriculture Journal*, 2022, vol. 16, no. 1, art. e2210070. DOI: 10.2174/18743315-v16-e2210070.

2. **Alshimaysawe U.A.A.A.A., Mohammed A.E., Ali S.M., et al. Controlling stem canker and black scurf disease complex on potato plants using Trichoderma isolates.** *Pakistan Journal of Phytopathology*, 2024, vol. 36, no. 1, pp. 19-27. DOI: 10.33866/phytopathol.036.01.0972.

3. **Andrivon D., Avendaño-Córcoles J., Cameron A.M. et al. Stability and variability of virulence of Phytophthora infestans assessed in a ring test across European laboratories.** *Plant Pathology*, 2011, vol. 60, pp. 556-565. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2010.02392.x.

4. **Runno-Paurson E., Hansen M., Kotkas K., et al. Evaluation of late blight foliar resistance of potato cultivars in northern Baltic conditions.** *Zemdirbyste*, 2019, vol. 106, no. 1, pp. 45-52. DOI: 10.13080/z-a.2019.106.006.

5. **Nowicki M., Foolad M.R., Nowakowska M., et al. Potato and tomato late blight caused by Phytophthora infestans: an overview of pathology and resistance breeding.** *Plant Disease*, 2012, vol. 96, no. 1, pp. 4-17. DOI: 10.1094/PDIS-05-11-0458.

6. **Solomiichuk M., Pikovskyi M. Biological control of Alternaria and late blight of potatoes.** *Plant and Soil Science*, 2025, vol. 16, no. 1, pp. 52-60. DOI: 10.31548/plant1.2025.52.

7. **Glazebrook J. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens.** *Annual Review of Phytopathology*, 2005, vol. 43, pp. 205-227. DOI: 10.1146/annurev.phyto.43.040204.135923.

8. **Mullins E., Milbourne D., Petti C., et al. Potato in the age of biotechnology.** *Trends in Plant Science*, 2006, vol. 11, no. 5, pp. 254-260. DOI: 10.1016/j.tplants.2006.03.002.

9. **Adilbayeva K., Moisseyev R., Kolchenko M. et al. Genetic evaluation of Kazakhstani potato germplasm for pathogen and pest resistance using DNA markers.** *Agronomy*, 2024, vol. 14, no. 9, p. 1923. DOI: 10.3390/agronomy14091923.

10. **Yessimseitova A., Abdrakhmanova A., Tokbergenova Z. et al. Identification and characterization of Alternaria species causing early blight on tomato in Kazakhstan.** *Agronomy*, 2025, vol. 15, no. 5, p. 1251. DOI: 10.3390/agronomy15051251.

11. **Muranec A.P., Zhanybekova Zh.T., Ryskeldina A.Zh., Kakimzhanova A.A. Izuchenie mikromicetov, vy'delenny'h iz klubnej kartofelya, porazhenny'h suhoj gnil'yu v Kazahstane** [Study of micromycetes causing dry rot disease of potatoes in Kazakhstan]. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotehnicheskogo universiteta im. S. Seifullina: Mezhdistsiplinarny'j*, 2025, vol. 3, iss. 127, pp. 138-153. DOI: 10.51452/kazatu.2025.3(127).2016. (In Russian)

12. **Hasanov V.T., Ekaterinskaya E.M., Sidorik A.I. et al. Sravnitel'naya ocenka novy'h sortov i selekcionny'h obrazcov kartofelya s pigmentirovannoj myakot'yu klubnej v usloviyah Kostanajskoj**

oblasti [Comparative assessment of new varieties and breeding lines of potatoes with pigmented tuber flesh in the conditions of Kostanay region]. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotehnicheskogo universiteta im. S. Seifullina: Mezhdistsiplinarny'i*, 2025, vol. 2, iss. 125, pp. 54-74. DOI: 10.51452/kazatu.2025.2(125).1882. (In Russian)

13. **Tang Y.W., Stratton C.W. Advanced techniques in diagnostic microbiology.** New York, Springer Publ., 2013, 400 p.

14. **Smith A.C., Hussey M.A. Gram stain protocols.** *American Society for Microbiology*, 2005, vol. 1, no. 14, pp. 113-144.

15. **Skiada V., Papadopoulou K.K. Closed systems to study plant-filamentous fungi associations: emphasis on microscopic analyses.** *Bio-protocol*, 2025, vol. 15, no. 4, art. e5186. DOI: 10.21769/BioProtoc. 5186.

16. **Gavrilova O., Orina A., Trubin I., et al. Identification and pathogenicity of Fusarium fungi associated with dry rot of potato tubers.** *Microorganisms*, 2024, vol. 12, no. 3, art. 598. DOI: 10.3390/microorganisms12030598.

17. **Fenglan Li, Xianfeng Jiang, Meili Sun et al. Screening of culture conditions for pathogens of potato dry rot.** *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil & Plant Science*, 2014, vol. 64, pp. 1-8. DOI: 10.1080/09064710.2014.953988.

18. **Tiwari R.K., Kumar R., Sharma S., et al. Impact of Fusarium dry rot on physicochemical attributes of potato tubers.** *Postharvest Biology and Technology*, 2021, vol. 181, art. 111638. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2021.111638.

19. **Amadioha A.C. Control of storage rot of potato caused by Rhizopus oryzae.** *International Journal of Pest Management*, 1996, vol. 42, no. 4, pp. 311-314. DOI: 10.1080/09670879609372011.

20. **Schmey T., Horbach R., Deising H.B. Alternaria diseases on potato and tomato.** *Molecular Plant Pathology*, 2024, vol. 25, art. e13484. DOI: 10.1111/mpp.13435.

21. **Lees A.K., Hilton A.J. Insights on the structural and metabolic resistance of potato (Solanum tuberosum) cultivars to tuber black dot (Colletotrichum coccodes).** *Plant Pathology*, 2003, vol. 52, no. 1, pp. 3-12. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2003.00793.x.

22. **Massana-Codina J., Schnee S., Allard P.M. et al. Insights on the structural and metabolic resistance of potato cultivars to tuber black dot (Colletotrichum coccodes).** *Frontiers in Plant Science*, 2020, vol. 11, p. 1287. DOI: 10.3389/fpls.2020.01287.

23. **Czajkowski R., Pérombelon M.C.M., van Veen J.A., et al. Detection, identification and differentiation of Pectobacterium and Dickeya species causing potato blackleg and tuber soft rot: a review.** *Annals of Applied Biology*, 2015, vol. 166, no. 1, pp. 18-38. DOI: 10.1111/aab.12166.

24. **Song W., Peng D., Huang W. et al. Diagnosis and characterization of Ditylenchus destructor populations associated with tuber crops.** *Pathogens*, 2023, vol. 12, no. 8, p. 1032. DOI: 10.3390/life13081758.

25. **CABI. Ditylenchus destructor (potato tuber nematode).** CABI Compendium, 2021. DOI: 10.1079/cabicompendium.19286.

Дата поступления: 09 мая 2026 г. **Принято:** 24 июня 2026 г. **Опубликовано:** 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Смагулова Айнура Муратовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ш. Коргалжын, 13/5, тел.: 87078523791, e-mail: smagulova0114@gmail.com.*

Киян Владимир Сергеевич – PhD, профессор заведующий Лабораторией биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ш. Коргалжын, 13/5, тел.: 87011216637, e-mail: vskiyan@gmail.com.

Уахит Рабиға Сейтбатталқызы – PhD, старший научный сотрудник Лаборатории биоразнообразия и генетических ресурсов, ТОО «Национальный центр биотехнологии», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ш. Коргалжын, 13/5, тел.: 87074324940, e-mail: erken.uakhitrabiga@gmail.com.

Богатко Дарья Викторовна – магистрант 2 курса специальности 7М05104 – Общая и прикладная биотехнология, кафедры биотехнологии и микробиологии, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Республика Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Кажымукан, 13, корпус 3, тел.: 87057462721, e-mail: d.bgtk2002@gmail.com.

Смагулова Айнура Мұратовна – биология ғылымдарының кандидаты, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Қорғалжын тасжолы, 13/5, тел.: 87078523791; e-mail: smagulova0114@gmail.com.*

Киян Владимир Сергеевич – PhD, профессор, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының меңгерушісі, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Қорғалжын тасжолы, 13/5, тел.: 87011216637; e-mail: vskiyan@gmail.com.

Уахит Рабиға Сейтбатталқызы – PhD, Биологиялық әртүрлілік және генетикалық ресурстар зертханасының аға ғылыми қызметкері, «Ұлттық биотехнология орталығы» ЖШС, Қазақстан Республикасы, 010000, Астана қ., Қорғалжын тасжолы, 13/5, тел.: 87074324940; e-mail: erken.uakhitrabiga@gmail.com.

Богатко Дарья Викторовна. – 7М05104 «Жалпы және қолданбалы биотехнология» мамандығының 2-курс магистранты, «Биотехнология және микробиология» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қажымұқан көш, 13, 3 ғимамрат, тел.: 87057462721; e-mail: d.bgtk2002@gmail.com.

Smagulova Ainura Muratovna – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 13/5 Korgalzhyn highway, tel.: 87078523791; e-mail: smagulova0114@gmail.com.*

Kiyan Vladimir Sergeyevich – PhD, Professor, Head of the Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 13/5 Korgalzhyn highway, tel.: 87011216637; e-mail: vskiyan@gmail.com.

Uakhit Rabiga Seitbattalkyzy – PhD, Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Genetic Resources, National Center for Biotechnology LLP, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 13/5 Korgalzhyn highway, tel.: 87074324940; e-mail: erken.uakhitrabiga@gmail.com.

Bogatko Darya Viktorovna – 2nd year Master's student, "7M05104 – General and Applied Biotechnology" educational program, Department of biotechnology and microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University NJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 13 Kazhymukan Str., 13, bld. 3, tel.: 87057462721; e-mail: d.bgtk2002@gmail.com.

МРНТИ 68.85.81
УДК 631.372.8:004.9
https://doi.org/10.52269/SEPT2631225

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Салыков Б.Р. – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.*

Ысқақ А. – кандидат сельскохозяйственных наук, директор научно-исследовательского института прикладной биотехнологии НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Мануйлов Н.В. – инженер кафедры программного обеспечения, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Кабдушева А.С. – PhD кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

В статье рассмотрены современные подходы к цифровой модернизации сельскохозяйственного машиностроения Северного Казахстана. Цель исследования заключалась в разработке методического инструмента для сопоставления цифровой оснащенности отдельных сельскохозяйственных машин и машинно-тракторных парков. Исследование имеет обзорно-аналитический и методический характер. Информационную основу составили научные публикации 2010-2025 годов, отобранные в базах Scopus и Web of Science, а также официальные материалы Европейской комиссии и FAO. Использовались системный и сравнительный анализ, сценарное моделирование и однофакторный анализ чувствительности. Предложен интегральный показатель цифровизации D, учитывающий степень внедрения GPS-навигации, IoT-мониторинга, цифровых платформ управления и инструментов искусственного интеллекта. В отличие от макроуровневых индексов цифровой зрелости, показатель предназначен для оценки цифровой функциональности конкретной машины или парка техники. Весовые коэффициенты предварительно определены на основе оценок 12 специалистов агропромышленного комплекса Костанайской области. Сценарная апробация проведена на пяти вариантах цифровой комплектации. Расчетные значения D изменялись от 0,25 до 1,00. Для базового сценария получено D = 0,42. При поочередном изменении весовых коэффициентов на ±20 % значение показателя находилось в диапазоне 0,389-0,448 и сохраняло исходную классификационную категорию. Полученные результаты подтверждают внутреннюю устойчивость расчетной мето-

дики, но не заменяют ее проверку на выборке реальных машин и машинно-тракторных парков. Показатель D может применяться при техническом аудите парка, сопоставлении вариантов цифровой модернизации и выборе объектов для пилотного внедрения.

Ключевые слова: *сельскохозяйственное машиностроение, цифровая модернизация, машинно-тракторный парк, интегральный показатель цифровизации, GPS-навигация, IoT-мониторинг.*

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАНДА ЦИФРЛАНДЫРУ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ МАШИНА ЖАСАУ САЛАСЫН ДАМЫТУДЫҢ ЗАМАНАУИ ТӘСІЛДЕРІ

Салықов Б.Р. – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), Аграрлық техника және көлік кафедрасы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

Ысқақ А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Қолданбалы биотехнология ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мануйлов Н.В. – инженер, Бағдарламалық қамтамасыз ету кафедрасы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Қабдушева А.С. – PhD, Аграрлық техника және көлік кафедрасы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Солтүстік Қазақстандағы ауыл шаруашылығы машина жасау саласын цифрлық жаңғыртудың заманауи тәсілдері қарастырылған. Зерттеудің мақсаты жекелеген ауыл шаруашылығы машиналары мен машина-трактор парктерінің цифрлық жарақтандырылуын салыстыруға арналған әдістемелік құрал әзірлеу болды. Зерттеу шолу-талдамалық және әдістемелік сипатқа ие. Ақпараттық негізді Scopus және Web of Science дерекқорларынан іріктелген 2010–2025 жылдардағы ғылыми жарияланымдар, сондай-ақ Еуропалық комиссия мен FAO-ның ресми материалдары құрады. Жүйелік және салыстырмалы талдау, сценарийлік модельдеу және бір факторлы сезімталдық талдауы қолданылды. GPS-навигацияны, IoT-мониторингті, цифрлық басқару платформаларын және жасанды интеллект құралдарын енгізу дәрежесін ескеретін цифрландырудың интегралдық көрсеткіші D ұсынылды. Цифрлық жетілудің макродеңгейлік индекстерінен айырмашылығы, бұл көрсеткіш нақты машинаның немесе техника паркінің цифрлық функционалдығын бағалауға арналған. Салмақтық коэффициенттер Қостанай облысының агроөнеркәсіптік кешенінің 12 маманының бағалауы негізінде алдын ала анықталды. Сценарийлік апробация цифрлық жабдықталудың бес нұсқасы бойынша жүргізілді. D көрсеткішінің есептік мәндері 0,25-тен 1,00-ге дейін өзгерді. Базалық сценарий үшін D = 0,42 мәні алынды. Салмақтық коэффициенттерді кезекпен ±20 %-ға өзгерткен кезде көрсеткіштің мәні 0,389–0,448 аралығында болды және бастапқы жіктеу санатын сақтады. Алынған нәтижелер есептеу әдістемесінің ішкі тұрақтылығын растайды, алайда оны нақты машиналар мен машина-трактор парктерінің іріктемесінде тексеруді алмастырмайды. D көрсеткіші техника паркіне техникалық аудит жүргізу, цифрлық жаңғырту нұсқаларын салыстыру және пилоттық енгізу объектілерін таңдау кезінде қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: *ауыл шаруашылығы машина жасау, цифрлық жаңғырту, машина-трактор паркі, цифрландырудың интегралдық көрсеткіші, GPS-навигация, IoT-мониторинг, Солтүстік Қазақстан.*

MODERN APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY ENGINEERING IN NORTHERN KAZAKHSTAN BASED ON DIGITALIZATION

Salykov B.R. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

Yskak A. – Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Applied Biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Manuilov N.V. – Engineer, Department of software, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kabdusheva A.S. – PhD, Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

The article examines modern approaches to the digital modernization of agricultural machinery engineering in Northern Kazakhstan. The aim of the study was to develop a methodological tool for comparing the level of digital equipment of individual agricultural machines and machinery and tractor fleets. The study is review-analytical and methodological in nature. The information framework included scientific publications published in 2010–2025 and selected from the Scopus and Web of Science databases, as well as official materials of the European Commission and FAO. Systematic and comparative analysis, scenario modelling, and one-factor sensitivity analysis were used. An integrated digitalization index (D) was proposed,

incorporating the extent to which GPS navigation, IoT monitoring, digital management platforms, and artificial intelligence tools have been implemented. Unlike macro-level digital maturity indices, the proposed indicator is intended to assess the digital functionality of a specific machine or machinery fleet. The weighting coefficients were preliminarily determined based on assessments by 12 specialists from the agro-industrial complex of the Kostanay region. Scenario-based testing was conducted using five digital configuration options. The calculated values of D index ranged from 0.25 to 1.00. For the baseline scenario, D = 0.42 was obtained. When the weighting coefficients were varied individually by ±20%, the index ranged from 0.389 to 0.448 while remaining within the initial classification category. The results confirm the internal robustness of the calculation methodology; however, they do not substitute for its validation using a sample of actual machinery and tractor fleets. The D index can be used for technical audits of machinery fleets, comparison of digital modernization options, and selection of equipment for pilot implementation.

Keywords: *agricultural machinery, digital modernization, machinery and tractor fleet, integrated digitalization index, GPS navigation, IoT monitoring.*

Введение

Сельскохозяйственное машиностроение формирует техническую основу аграрного производства. Надежность и технологическая оснащенность машин определяют производительность труда, качество полевых операций, расход топлива и возможность выполнения работ в установленные агротехнические сроки [1, с. 327; 2, с. 1564]. Для Северного Казахстана значение этих факторов особенно велико вследствие масштабов обрабатываемых площадей, специализации региона на производстве зерновых и масличных культур, а также зависимости результатов сельскохозяйственного производства от погодных условий.

Технологическое развитие отрасли сдерживается физическим и моральным износом машинно-тракторного парка, недостаточными темпами его обновления, зависимостью от импортной техники и комплектующих и различиями в технических возможностях сельскохозяйственных предприятий [3; 4]. При этом модернизация не может ограничиваться заменой устаревших машин современными аналогами. Наряду с обновлением парка необходимо повышать надежность деталей и рабочих органов, развивать локализованное производство и внедрять средства цифрового контроля технического состояния машин [5].

Цифровизация стала одним из основных направлений развития сельскохозяйственной техники [6]. GPS-навигация, системы параллельного вождения, телематические устройства, датчики технического состояния, технологии Интернета вещей, цифровые платформы и алгоритмы искусственного интеллекта позволяют контролировать режимы работы машин, сокращать простои, снижать эксплуатационные затраты и повышать точность технологических операций [7, с. 74; 8; 9, с. 4859]. Наиболее выраженный эффект достигается при объединении этих решений в общий информационный контур, обеспечивающий последовательность «сбор данных – передача – обработка – управленческое решение» [10; 11].

Необходимость технологического и цифрового обновления агропромышленного комплекса закреплена в Концепции развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021–2030 годы [12]. Вместе с тем внедрение цифровых технологий зависит не только от технической доступности решений, но и от экономических, организационных и кадровых факторов, влияющих на готовность сельскохозяйственных предприятий к их практическому применению [13]. Переход от отдельных устройств к связанному цифровому контуру соответствует современным представлениям о цифровых двойниках и технологиях Agriculture 4.0, объединяющих машины, данные и платформенные средства управления [14; 15].

В научной литературе представлены различные подходы к оценке цифрового развития. Индекс цифровой экономики и общества DESI применяется преимущественно для межстранового анализа и учитывает цифровую инфраструктуру, человеческий капитал, распространение технологий и цифровые услуги [16]. Инструмент FAO DVI Readiness Assessment предназначен для определения готовности сельских сообществ к цифровой трансформации и включает инфраструктурные, институциональные, кадровые и управленческие критерии [17]. Эти подходы характеризуют цифровую зрелость страны, территории или организации, но не позволяют непосредственно определить, насколько конкретная сельскохозяйственная машина или машинно-тракторный парк включены в цифровой контур эксплуатации.

Для решения этой задачи предложен интегральный показатель цифровизации D, объединяющий четыре технических компонента: GPS-навигацию и параллельное вождение, IoT-мониторинг и телематику, цифровые платформы управления, а также искусственный интеллект и предиктивную аналитику. В отличие от макроуровневых индексов показатель D ориентирован на технический уровень и может рассчитываться для отдельной машины, группы машин или машинно-тракторного парка.

Научно-методическая новизна исследования состоит в формализации последовательных уровней цифровой функциональности сельскохозяйственной техники и их объединении в диагностическую оценку, предназначенную для сопоставления вариантов цифровой комплектации и определения очередности модернизации. Показатель D не заменяет комплексную оценку цифровой зрелости предприятия, а дополняет ее характеристикой технической оснащенности эксплуатируемого парка. Таким образом, в настоящей работе цифровая модернизация рассматривается на уровне функциональности сельскохозяйственных машин и их интеграции в общий информационный контур.

Цель исследования заключалась в систематизации современных подходов к цифровой модернизации сельскохозяйственной техники и разработке диагностического показателя для сопоставления цифровой оснащенности отдельных машин и машинно-тракторных парков Северного Казахстана.

Объектом исследования являются технические и информационные компоненты цифровой трансформации сельскохозяйственных машин. **Предмет** исследования – методы их формализации и объединения в интегральную оценку, применяемую при выборе направлений цифровой модернизации.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**: проанализировать отечественный и зарубежный опыт применения цифровых технологий в сельскохозяйственной технике; определить состав компонентов, характеризующих ее цифровую функциональность; обосновать процедуру нормирования и выбора весовых коэффициентов; проверить поведение показателя D при различных сценариях цифровой комплектации и изменении весов; определить последовательность внедрения технологий с учетом затрат, ожидаемого эффекта, инфраструктурных требований и готовности существующего парка.

Исследование имеет обзорно-аналитический и методический характер. Расчетные сценарии используются для проверки логики и внутренней устойчивости показателя D и не рассматриваются как репрезентативная оценка фактического уровня цифровизации сельскохозяйственной техники Северного Казахстана.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено с применением системного, сравнительного и институционально-технологического подходов. Сельскохозяйственная техника рассматривалась как элемент многоуровневой системы «машина – оператор – цифровая платформа – производственная среда», функционирующей в условиях неоднородного технического состояния машинно-тракторного парка и различной доступности цифровой инфраструктуры [14; 15]. Такой подход позволяет учитывать не только наличие отдельных цифровых устройств, но и степень их включения в процессы сбора, передачи, обработки и практического использования эксплуатационных данных.

Информационную основу исследования составили научные публикации 2010–2025 годов, отобранные в базах Scopus и Web of Science. Поиск проводился по сочетаниям ключевых слов «agricultural machinery digitalization», «precision agriculture», «smart farming», «IoT in agriculture» и «predictive maintenance in agriculture». Рассматривались работы, посвященные цифровым технологиям в сельскохозяйственной технике, точному земледелию, телематике, интеллектуальному управлению, прогнозной диагностике и анализу технического состояния машин. Дополнительно использовались официальные материалы Европейской комиссии и FAO, а также положения Концепции развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021–2030 годы [12; 16; 17]. Отобранные материалы применялись для аналитического обобщения технологических решений и формирования структуры интегрального показателя.

На основе анализа публикаций цифровые технологии были объединены в четыре функциональные группы: GPS-навигация и параллельное вождение; IoT-мониторинг и телематика; цифровые платформы управления; искусственный интеллект и предиктивная аналитика [7-10; 14; 15; 18; 19]. Выделение этих компонентов обусловлено их последовательной ролью в цифровом контуре эксплуатации техники. Навигационные системы определяют пространственное положение и обеспечивают точность выполнения операций; телематика и IoT-устройства формируют поток эксплуатационных данных; цифровые платформы обеспечивают их объединение и централизованную обработку; инструменты искусственного интеллекта используются для выявления закономерностей, прогнозирования технического состояния и формирования рекомендаций.

Для количественной оценки цифровой оснащенности предложен безразмерный интегральный показатель D:

$$D = \sum_{i=1}^{4}(w_i \cdot x_i),$$

где x_i – нормированная степень реализации i-го цифрового компонента; w_i – весовой коэффициент его относительной значимости. Для обеспечения сопоставимости выполняются условия $0 \le x_i \le 1$, $w_i \ge 0$ и $\sum w_i = 1$.

Степень реализации каждого компонента оценивалась по единой порядковой шкале. Значение 0 присваивалось при отсутствии соответствующей функции; 0,25 – при наличии отдельного цифрового элемента, используемого эпизодически и без регулярного обмена данными; 0,50 – при устойчивом автономном использовании функции в пределах отдельной машины; 0,75 – при постоянном обмене данными с цифровой платформой; 1,00 – при полной интеграции функции в контур мониторинга, анализа и принятия технических или управленческих решений. Использование единой шкалы позволяет сопоставлять компоненты, имеющие различную техническую природу, и исключает прямое объединение процентных показателей, полученных из методически несопоставимых источников.

Для предварительной калибровки весовых коэффициентов проведена экспертная оценка с участием 12 специалистов агропромышленного комплекса Костанайской области. В экспертную группу вошли руководители сельскохозяйственных предприятий, главные инженеры и агрономы, имевшие практический опыт выбора, эксплуатации и технического обслуживания сельскохозяйственной техники. Критерием привлечения специалиста являлось непосредственное участие в управлении машинно-тракторным парком или применении цифровых технологий.

На основе обобщения экспертных оценок установлены следующие весовые коэффициенты: GPS-навигация и параллельное вождение – 0,25; IoT-мониторинг и телематика – 0,30; цифровые платформы управления – 0,25; искусственный интеллект и предиктивная аналитика – 0,20. Более высокий вес телематики обусловлен ее ролью в формировании непрерывного потока эксплуатационных данных, необходимого для последующего применения платформенной и интеллектуальной аналитики. Поскольку состав экспертной группы не обеспечивает статистической репрезентативности для всего Северного Казахстана, полученные веса рассматриваются как предварительные.

Для интерпретации показателя D диапазон от 0 до 1 был разделен на четыре равных диагностических интервала: 0–0,24 – низкий уровень цифровой оснащенности; 0,25–0,49 – базовый; 0,50–0,74 – развитый; 0,75–1,00 – высокий. Эти интервалы предназначены для предварительного технического аудита и сопоставления вариантов цифровой комплектации. Их границы должны уточняться по мере накопления данных о реальных машинах и хозяйствах.

Методическая апробация показателя проводилась на пяти расчетных сценариях, отражающих последовательное расширение цифровой функциональности техники: использование навигации; подключение базового мониторинга; формирование связанного контура техники; интеграция с цифровой платформой; внедрение интеллектуального управления. Значения компонентов в сценариях задавались авторами и использовались для проверки расчетной логики показателя. Они не рассматривались как результаты обследования машинно-тракторного парка Северного Казахстана.

Устойчивость показателя оценивалась методом однофакторного анализа чувствительности. Для моделирования неопределенности предварительной экспертной калибровки каждый весовой коэффициент поочередно уменьшался и увеличивался на 20 %. После изменения одного коэффициента все значения веса повторно нормировались до суммы, равной единице, и выполнялся перерасчет D. Показатель считался устойчивым, если изменение весов не приводило к переходу рассматриваемого сценария в другую классификационную категорию.

Примененная процедура позволяет оценить внутреннюю согласованность показателя D и его чувствительность к предварительно выбранным весовым коэффициентам. Она не является внешней эмпирической валидацией методики. Такая проверка требует обследования реальных групп сельскохозяйственной техники по единому протоколу и сопоставления значений D с эксплуатационными характеристиками, включая расход топлива, производительность, продолжительность простоев, количество отказов и затраты на техническое обслуживание.

Результаты исследования

Анализ научных публикаций показал, что развитие сельскохозяйственной техники связано с переходом от автономно работающих машин к техническим комплексам, объединенным средствами навигации, сенсорами, телематическими устройствами и цифровыми платформами [7, с. 72; 9, с. 4866; 10]. При этом наличие отдельных цифровых устройств само по себе не обеспечивает полноценной цифровой трансформации. Для получения устойчивого эксплуатационного эффекта необходим последовательный переход от сбора данных к их передаче, обработке и использованию при принятии технических и управленческих решений.

Для методической апробации показателя D сформированы пять сценариев цифровой комплектации сельскохозяйственной техники. Первый сценарий предусматривает использование GPS-навигации без подключения других цифровых функций. Второй включает навигацию, частичный IoT-мониторинг и начальное использование цифровой платформы. В третьем сценарии усиливается обмен эксплуатационными данными между техникой и платформой. Четвертый соответствует платформенно интегрированному машинно-тракторному парку. Пятый описывает полностью связанный цифровой контур с применением искусственного интеллекта и предиктивной аналитики. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сценарная апробация интегрального показателя цифровизации D

Сценарий	Характеристика сценария	GPS (x_1)	IoT (x_2)	Цифровая платформа (x_3)	ИИ (x_4)	D
S1	Навигационный	1,0	0	0	0	0,25
S2	Базовый мониторинг	1,0	0,4	0,2	0	0,42
S3	Связанная техника	1,0	0,7	0,3	0	0,54
S4	Платформенная интеграция	1,0	1,0	0,8	0,3	0,81
S5	Интеллектуальная техника	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00

Примечание – значения x_1–x_4 заданы для методической проверки расчета и не являются результатами обследования сельскохозяйственных предприятий региона. Весовые коэффициенты: wGPS = 0,25; wIoT = 0,30; wплатформа = 0,25; wИИ = 0,20. Границы уровней: низкий – 0–0,24; базовый – 0,25–0,49; развитый – 0,50–0,74; высокий – 0,75–1,00.

Расчетные значения D последовательно увеличивались от 0,25 в первом сценарии до 1,00 в пятом. Для второго, базового сценария получено D = 0,42, что соответствует базовому уровню цифровой оснащенности. В сценарии с развитой телематикой и обменом данными показатель составил 0,54, а при платформенной интеграции техники – 0,81. Полученная динамика показывает предусмотренное методикой последовательное изменение D по мере расширения цифровой функциональности и усиления взаимосвязи между ее компонентами.

Дополнительно проведен анализ чувствительности базового сценария к изменению весовых коэффициентов. При поочередном уменьшении и увеличении каждого веса на 20 % с последующей нормировкой значение D изменялось в диапазоне 0,389–0,448. Размах составил 0,059. Во всех вариантах показатель оставался в пределах базовой классификационной категории. Наибольшее изменение наблюдалось при корректировке веса GPS-навигации, поскольку в рассматриваемом сценарии данная функция была реализована полностью. Результат характеризует внутреннюю устойчивость расчетного примера к изменению предварительно установленных весов.

На следующем этапе выполнено качественное ранжирование цифровых технологий по относительному уровню затрат, ожидаемому эксплуатационному эффекту, инфраструктурным требованиям и готовности существующего машинно-тракторного парка. Наиболее доступным начальным этапом определено внедрение GPS-навигации и систем параллельного вождения. Эти решения не требуют полной перестройки информационной инфраструктуры и позволяют повысить точность полевых операций. Вторым этапом является внедрение телематики и IoT-мониторинга, обеспечивающих сбор данных о загрузке, режимах работы и техническом состоянии машин. Результаты ранжирования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Предлагаемая последовательность цифровой модернизации сельскохозяйственной техники Северного Казахстана

Этап	Цифровое решение	Уровень затрат	Ожидаемый результат	Необходимая инфраструктура	Готовность к внедрению
1	GPS-навигация и параллельное вождение	низкий	Снижение перекрытий и пропусков; экономия топлива; повышение точности полевых операций	GNSS-приемник, дисплей или контроллер; базовое обучение механизаторов	высокая
2	Телематический мониторинг	средний	Контроль местоположения, загрузки и расхода топлива; раннее выявление технических отклонений	Датчики и бортовой контроллер; мобильная связь; сервер или облачное хранилище	средняя
3	Единая цифровая платформа	средний–высокий	Объединение данных; планирование полевых работ и технического обслуживания; сравнение показателей машин	Стабильная связь; совместимые протоколы и API; база данных; ответственный специалист	средняя
4	Предиктивная аналитика и интеллектуальная диагностика	высокий	Прогнозирование отказов; сокращение внеплановых простоев; переход к обслуживанию по техническому состоянию	Накопленная история данных; датчики требуемого качества; вычислительные ресурсы; специалисты по анализу данных	ограниченная
5	Автономные и роботизированные системы	очень высокий	Автоматизация операций; повышение точности и повторяемости; снижение влияния человеческого фактора	RTK-коррекция; надежный канал связи; системы функциональной безопасности; сервисная поддержка	перспективная

Примечание – уровни затрат и технологической готовности имеют предварительный качественный характер. Перед внедрением их следует уточнять для конкретного хозяйства с учетом совокупной стоимости владения, состояния машин, доступности связи, квалификации персонала и ожидаемого производственного эффекта.

Платформенная интеграция отнесена к третьему этапу, поскольку ее эффективность зависит от достаточного количества машин, оснащенных датчиками, и наличия устойчивого канала передачи дан-

ных. Предиктивная аналитика занимает четвертый этап: для ее применения необходимы накопленная история эксплуатации, сведения об отказах и качественные диагностические сигналы. Автономные и роботизированные системы отнесены к пятому этапу вследствие высокой стоимости, повышенных требований к навигационной инфраструктуре, безопасности, техническому обслуживанию и нормативному обеспечению. Предлагаемая последовательность должна уточняться для конкретного хозяйства на основе расчета совокупной стоимости владения и ожидаемого экономического эффекта.

Обобщение результатов позволило сформировать концептуальную модель поэтапной цифровизации сельскохозяйственной техники Северного Казахстана. Модель отражает переход от базового уровня к навигации и сенсоризации, затем к платформенному управлению и интеллектуальной обработке данных. Каждый последующий уровень опирается на информацию и инфраструктуру, которые были сформированы на предыдущем этапе. Поэтому внедрение предиктивной аналитики и автономного управления без предварительного создания надежного информационного контура не обеспечивает устойчивого результата. Предлагаемая модель представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Концептуальная модель цифровизации сельскохозяйственного машиностроения Северного Казахстана

Представленные значения D являются результатами сценарной апробации и не характеризуют фактическое распределение сельскохозяйственной техники Северного Казахстана по уровням цифровизации. Их связь с эксплуатационной эффективностью должна быть установлена при последующем обследовании реальных машин и хозяйств.

Обсуждение результатов

Предложенная концептуальная модель рассматривает цифровизацию сельскохозяйственной техники как последовательное формирование единого информационного контура. На базовом уровне машина выполняет технологические операции без систематического сбора и передачи эксплуатационных данных. Подключение навигации, сенсоров и телематики создает информационную основу для платформенного управления. Применение искусственного интеллекта, предиктивной аналитики и автономных функций становится обоснованным после накопления достаточного объема качественных данных. Такой подход согласуется с представлением о цифровой трансформации сельского хозяйства как о развитии киберфизической системы, а не как об установке отдельных цифровых устройств [3; 14; 15].

Методический вклад исследования состоит в соединении многоуровневой архитектуры цифровизации с интегральным показателем D. Существующие индексы преимущественно характеризуют страны, территории, организации или сельские сообщества и учитывают инфраструктуру, человеческий капитал, доступность цифровых услуг и институциональные условия [16; 17]. Показатель D имеет более узкую инженерную направленность и отражает степень включения конкретной машины или машинно-тракторного парка в цифровой контур эксплуатации. Его отличие заключается в переносе оценки цифровой зрелости с макроуровня на уровень технического объекта. Поэтому показатель следует рассматривать не как замену существующих индексов, а как дополнительный инструмент технического аудита и выбора направлений модернизации.

Сценарная апробация показала последовательное изменение D от 0,25 в варианте, включающем только навигацию, до 1,00 в полностью интегрированном цифровом контуре. Такая динамика соответствует заложенной структуре показателя, однако сама по себе не подтверждает его связь с фактической эксплуатационной эффективностью техники. При поочередном изменении весовых коэффициентов на ±20 % базовый сценарий сохранил исходную классификационную категорию, что характеризует внутреннюю устойчивость расчетного примера к умеренному изменению предварительной экспертной калибровки. Вместе с тем однофакторный анализ не учитывает одновременного изменения нескольких весов и возможного пересмотра состава оцениваемых компонентов.

Предварительное ранжирование технологий показывает, что цифровую модернизацию целесообразно начинать с решений, обеспечивающих непосредственный производственный эффект и одновременно формирующих данные для последующих этапов. GPS-навигация и параллельное вождение могут внедряться без сложной платформенной инфраструктуры и позволяют повысить точность выполнения полевых операций. Телематика и IoT-мониторинг занимают следующий этап, поскольку обеспечивают получение сведений о загрузке, режимах работы и техническом состоянии машин. Без такого информационного слоя применение предиктивной аналитики остается ограниченным.

Платформенная интеграция приобретает практическое значение при достаточном количестве подключенной техники, наличии устойчивых каналов связи и совместимости используемых форматов данных. Предиктивная аналитика требует истории отказов, диагностических сигналов, регламентов хранения информации и процедур проверки моделей. Автономные и роботизированные системы предъявляют наиболее высокие требования к RTK-навигации, безопасности, техническому обслуживанию и нормативному обеспечению [18; 19]. Поэтому очередность их внедрения должна определяться с учетом масштаба хозяйства, состава и технического состояния парка, квалификации персонала и доступности сервисной поддержки.

Экономическое сопоставление вариантов модернизации необходимо проводить для конкретного хозяйства. Совокупная стоимость владения должна учитывать приобретение цифрового оборудования, его установку и интеграцию, оплату каналов связи и программных сервисов, обучение работников и последующее техническое обслуживание. Эти затраты следует сопоставлять с ожидаемой экономией топлива, сокращением простоев, уменьшением ремонтных расходов и технологических потерь. В связи с различиями между хозяйствами качественное ранжирование, представленное в таблице 2, следует использовать как основу для выбора пилотного решения, а не как универсальную экономическую оценку.

В международных исследованиях применение систем точного земледелия, телематики и платформенного управления связывается с повышением производительности, снижением расхода топлива и уменьшением технологических потерь [10; 11]. Однако перенос этих эффектов на условия Северного Казахстана требует осторожности. Их фактическая величина зависит от площади хозяйства, возраста и технического состояния машин, качества связи, квалификации операторов, стоимости цифровых сервисов и доступности технической поддержки. Поэтому результаты зарубежных исследований могут использоваться как ориентиры при планировании пилотных проектов, но не должны рассматриваться как подтвержденные показатели эффективности для региона.

Цифровая модернизация не устраняет необходимости технического обновления машин и повышения надежности рабочих органов. Интеллектуальное управление не может компенсировать конструктивные ограничения и высокий физический износ техники. Развитие цифровых функций должно сочетаться с локализацией производства деталей, выбором износостойких материалов и совершенствованием системы технического обслуживания [5]. При этом результативность цифровизации зависит не только от оборудования, но и от готовности работников интерпретировать данные и использовать их при принятии решений. Поэтому повышение цифровой оснащенности должно сопровождаться подготовкой операторов и инженерно-технического персонала [6; 13].

Основное ограничение исследования определяется его обзорно-аналитическим и методическим характером. Предварительная калибровка весов выполнена с участием ограниченной группы специалистов одного региона, а значения компонентов в пяти сценариях заданы для проверки расчетной логики. Полученные значения D не характеризуют фактический уровень цифровизации машинно-тракторного парка Северного Казахстана. Для внешней эмпирической валидации необходимо обследовать реальные группы машин по единому протоколу, расширить состав экспертов, оценить согласованность их суждений и установить связь D с измеряемыми эксплуатационными показателями: производительностью, расходом топлива, продолжительностью простоев, количеством отказов и затратами на техническое обслуживание.

Заключение

В исследовании разработан интегральный показатель D для оценки цифровой оснащенности отдельных сельскохозяйственных машин и машинно-тракторных парков. Показатель объединяет четыре компонента: GPS-навигацию и параллельное вождение, IoT-мониторинг и телематику, цифровые платформы управления, искусственный интеллект и предиктивную аналитику. В отличие от индексов, характеризующих цифровое развитие страны, территории или организации, показатель D ориентиро-

ван на технический уровень конкретного объекта и может применяться при первичном аудите машинно-тракторного парка.

Сценарная апробация показала изменение D от 0,25 для техники, оснащенной только навигационной системой, до 1,00 при полной интеграции рассматриваемых цифровых компонентов. Для базового сценария, включающего GPS-навигацию, частичный IoT-мониторинг и начальное использование цифровой платформы, получено D = 0,42. При поочередном изменении весовых коэффициентов на ±20 % значение показателя находилось в диапазоне 0,389-0,448 и сохраняло базовую классификационную категорию. Полученный результат характеризует внутреннюю устойчивость расчетной методики, но не подтверждает ее внешнюю валидность на реальных производственных объектах.

Для сельскохозяйственных предприятий Северного Казахстана предложена предварительная последовательность цифровой модернизации техники. Начальный этап включает внедрение GPS-навигации и систем параллельного вождения, следующий – телематики и IoT-мониторинга. Платформенная интеграция, предиктивная аналитика и автономные системы требуют устойчивой цифровой инфраструктуры, накопленных эксплуатационных данных и соответствующей подготовки специалистов. Показатель D может использоваться для сравнения машин по уровню цифровой оснащенности, определения очередности модернизации и выбора объектов для пилотного внедрения. При принятии инвестиционных решений его следует дополнять оценкой совокупной стоимости владения, технической совместимости оборудования, затрат на связь и программное обеспечение, готовности персонала и ожидаемого производственного эффекта.

Полученные значения D имеют сценарный характер и не отражают фактическую распространенность цифровых технологий в Северном Казахстане. Последующая эмпирическая проверка методики должна включать обследование реальных групп машин по единому протоколу и сопоставление D с коэффициентом технической готовности, расходом топлива, производительностью, продолжительностью простоев, количеством отказов и затратами на техническое обслуживание. Такая апробация позволит уточнить весовые коэффициенты и границы диагностических уровней, а также определить условия применения предиктивной диагностики и цифровых двойников при эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках проекта BR24992785 «Организация и проведение комплексных исследований по обеспечению устойчивого развития агропромышленного комплекса Костанайской области с созданием научно-исследовательского технологического центра».

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Finger R., Swinton S.M., El Benni N., Walter A. Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment** [Текст] // Annual Review of Resource Economics. – 2019. – Vol. 11. – P. 313–335. – DOI: 10.1146/annurev-resource-100518-093929.

2. **Lowenberg-DeBoer J., Erickson B. Setting the record straight on precision agriculture adoption** [Текст] // Agronomy Journal. – 2019. – Vol. 111, No. 4. – P. 1552–1569. – DOI: 10.2134/agronj2018.12.0779.

3. **MacPherson J., Voglhuber-Slavinsky A., Olbrisch M., Schöbel P., Dönitz E., Mouratiadou I., Helming K. Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review** [Текст] // Agronomy for Sustainable Development. – 2022. – Vol. 42. – Article 70. – DOI: 10.1007/s13593-022-00792-6.

4. **Klerkx L., Jakku E., Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and Agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda** [Текст] // NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences. – 2019. – Vol. 90–91. – Article 100315. – DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315.

5. **Салыков Б.Р., Куанышбаев С.Б., Ермолдина Г.Т., Мануйлов Н.В. Выбор материалов для локализованного производства рабочих органов почвообрабатывающих машин** [Текст] // 3i: intellect, idea, innovation – интеллект, идея, инновация. – 2026. – Т. 1, № 1. – С. 193–201. – DOI: 10.52269/SRDG2611193.

6. **Rose D.C., Wheeler R., Winter M., Lobley M., Chivers C.A. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet** [Текст] // Land Use Policy. – 2021. – Vol. 100. – Article 104933. – DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104933.

7. **Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.J. Big data in smart farming – A review** [Текст] // Agricultural Systems. – 2017. – Vol. 153. – P. 69–80. – DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

8. **Boursianis A.D., Papadopoulou M.S., Diamantoulakis P., Liopa-Tsakalidi A., Barouchas P., Salahas G., Karagiannidis G., Wan S., Goudos S.K. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Smart Farming: A comprehensive review** [Текст] // Internet of Things. – 2022. – Vol. 18. – Article 100187. – DOI: 10.1016/j.iot.2020.100187.

9. **Sharma A., Jain A., Gupta P., Chowdary V. Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review** [Текст] // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 4843–4873. – DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3048415.

10. **Monteiro A., Santos S., Gonçalves P. Precision agriculture for crop and livestock farming – Brief review** [Текст] // Animals. – 2021. – Vol. 11, No. 8. – Article 2345. – DOI: 10.3390/ani11082345.

11. **Balafoutis A., Beck B., Fountas S., Vangeyte J., Van der Wal T., Soto I., Gómez-Barbero M., Barnes A., Eory V. Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics** [Текст] // Sustainability. – 2017. – Vol. 9, No. 8. – Article 1339. – DOI: 10.3390/su9081339.

12. **Об утверждении Концепции развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021–2030 годы: постановление Правительства Республики Казахстан от 30 декабря 2021 года № 960** [Электронный ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000960 (дата обращения: 24.08.2026).

13. **Pathak H.S., Brown P., Best T. A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process** [Текст] // Precision Agriculture. – 2019. – Vol. 20, No. 6. – P. 1292–1316. – DOI: 10.1007/s11119-019-09653-x.

14. **Verdouw C., Tekinerdogan B., Beulens A., Wolfert S. Digital twins in smart farming** [Текст] // Agricultural Systems. – 2021. – Vol. 189. – Article 103046. – DOI: 10.1016/j.agsy.2020.103046.

15. **Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies** [Текст] // International Journal of Intelligent Networks. – 2022. – Vol. 3. – P. 150–164. – DOI: 10.1016/j.ijin.2022.09.004.

16. **European Commission. Digital Decade 2025: DESI methodological note** [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-decade-2025-desi-methodological-note (дата обращения: 24.08.2026).

17. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Advancing the digital transformation of agriculture and rural areas through national strategies, e-Government systems, and Digital Villages – update for Europe and Central Asia: ECA/43/23/INF/4** [Электронный ресурс]. – Rome: FAO, 2023. – URL: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/nn296en (дата обращения: 24.08.2026).

18. **Talaviya T., Shah D., Patel N., Yagnik H., Shah M. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides** [Текст] // Artificial Intelligence in Agriculture. – 2020. – Vol. 4. – P. 58–73. – DOI: 10.1016/j.aiia.2020.04.002.

19. **Wakchaure M., Patle B.K., Mahindrakar A.K. Application of AI techniques and robotics in agriculture: A review** [Текст] // Artificial Intelligence in the Life Sciences. – 2023. – Vol. 3. – Article 100057. – DOI: 10.1016/j.ailsci.2023.100057.

REFERENCES:

1. **Finger R., Swinton S.M., El Benni N., Walter A. Precision farming at the nexus of agricultural production and the environment.** *Annual Review of Resource Economics,* 2019, vol.11, pp. 313–335. DOI: 10.1146/annurev-resource-100518-093929.

2. **Lowenberg-DeBoer J., Erickson B. Setting the record straight on precision agriculture adoption.** *Agronomy Journal,* 2019, vol. 111, no. 4, pp. 1552–1569. DOI: 10.2134/agronj2018.12.0779.

3. **MacPherson J., Voglhuber-Slavinsky A., Olbrisch M., et al. Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review.** *Agronomy for Sustainable Development,* 2022, vol. 42, art. 70. DOI: 10.1007/s13593-022-00792-6.

4. **Klerkx L., Jakku E., Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and Agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda.** *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences,* 2019, vol. 90–91, art. 100315. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315.

5. **Salykov B.R., Kuanyshbayev S.B., Yermoldina G.T., Manuilov N.V. Vy'bor materialov dlya lokalizovannogo proizvodstva rabochih organov pochvoobrabaty'vayushhih mashin** [Selection of materials for localized production of tillage machine working elements]. *3i: intellect, idea, innovation,* 2026;1(1):193–201. DOI: 10.52269/SRDG2611193. (In Russian)

6. **Rose D.C., Wheeler R., Winter M., Lobley M., Chivers C.A. Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet.** *Land Use Policy,* 2021, vol. 100, art. 104933. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104933.

7. **Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.J. Big data in smart farming – A review.** *Agricultural Systems,* 2017, vol. 153, pp. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

8. **Boursianis A.D., Papadopoulou M.S., Diamantoulakis P., Liopa-Tsakalidi A., et al. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: a comprehensive review.** *Internet of Things,* 2022, vol. 18, art. 100187. DOI: 10.1016/j.iot.2020.100187.

9. **Sharma A., Jain A., Gupta P., Chowdary V. Machine learning applications for precision agriculture: A comprehensive review.** *IEEE Access,* 2021, vol. 9, pp. 4843–4873. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3048415.

10. **Monteiro A., Santos S., Gonçalves P. Precision agriculture for crop and livestock farming – Brief review.** *Animals,* 2021, vol. 11, no. 8, art. 2345. DOI: 10.3390/ani11082345.

11. **Balafoutis A., Beck B., Fountas S., et al. Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics.** *Sustainability,* 2017, vol. 9, no. 8, art. 1339. DOI: 10.3390/su9081339.

12. **Ob utverzhdenii Koncepcii razvitiya agropromy'shlennogo kompleksa Respubliki Kazahstan na 2021–2030 gody'** [On approval of the Concept for development of the agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan for 2021–2030]. Resolution No. 960 dated 30 December 2021, available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000960 (accessed 24 August 2026). (In Russian)

13. **Pathak H.S., Brown P., Best T. A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process.** *Precision Agriculture,* 2019, vol. 20, no. 6, pp. 1292–1316. DOI: 10.1007/s11119-019-09653-x.

14. **Verdouw C., Tekinerdogan B., Beulens A., Wolfert S. Digital twins in smart farming.** *Agricultural Systems,* 2021, vol. 189, art. 103046. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.103046.

15. **Javaid M., Haleem A., Singh R.P., Suman R. Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies.** *International Journal of Intelligent Networks,* 2022, vol. 3, pp. 150–164. DOI: 10.1016/j.ijin.2022.09.004.

16. **European Commission. Digital Decade 2025: DESI methodological note.** 2025, available at: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-decade-2025-desi-methodological-note (accessed 24 August 2026).

17. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Advancing the digital transformation of agriculture and rural areas through national strategies, e-Government systems, and Digital Villages – update for Europe and Central Asia.** ECA/43/23/INF/4, Rome: FAO; 2023, available at: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/nn296en (accessed 24 August 2026).

18. **Talaviya T., Shah D., Patel N., Yagnik H., Shah M. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides.** *Artificial Intelligence in Agriculture.* 2020;4:58–73. DOI: 10.1016/j.aiia.2020.04.002.

19. **Wakchaure M., Patle B.K., Mahindrakar A.K. Application of AI techniques and robotics in agriculture: A review.** *Artificial Intelligence in the Life Sciences,* 2023, vol. 3, art. 100057. DOI: 10.1016/j.ailsci.2023.100057.

Дата поступления: 10 июня 2026 г. **Принято:** 20 августа 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Салыков Булат Рахимжанович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент) кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Воинов Интернационалистов, 2а, тел.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru.*

Ысқақ Алия – кандидат сельскохозяйственных наук, директор научно-исследовательского института прикладной биотехнологии, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Абая, 123, тел.: 87058854684, e-mail: yskak_aliya@ksu.edu.kz.

Мануйлов Николай Владимирович – инженер кафедры программного обеспечения, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110005, г. Костанай, ул. Геологическая, 1, тел.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com.

Кабдушева Альмира Серикпаевна – PhD кафедры аграрной техники и транспорта, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, Наурыз 7-32, тел.: 87789791807, e-mail: 9.12.1989@mail.ru.

Салыков Булат Рахимжанович – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), Аграрлық техника және көлік кафедрасы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Интернационалист-жауынгерлер көш, 2а, тел.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru.*

Ысқақ Алия – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, Қолданбалы биотехнология ғылыми-зерттеу институтының директоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай көш, 123, тел.: 87058854684, e-mail: yskak_aliya@ksu.edu.kz.

Мануйлов Николай Владимирович – Бағдарламалық қамтамасыз ету кафедрасының инженері, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110005, Қостанай қ., Геологиялық көш, 1, тел.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com.

Кабдушева Альмира Серикпаевна – PhD, Аграрлық техника және көлік кафедрасы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Наурыз шағ.ауд, 7–32, тел.: 87789791807, e-mail: 9.12.1989@mail.ru.

Salykov Bulat Rakhimzhanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 2a Voinov Internatsionalistov Str., tel.: 87758190343, e-mail: salykovbulat@mail.ru.*

Yskak Aliya – Candidate of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Applied Biotechnology, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 123 Abai Str., tel.: 87058854684, e-mail: yskak_aliya@ksu.edu.kz.

Manuilov Nikolay Vladimirovich – Engineer, Department of software, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NJSC, Republic of Kazakhstan, 110005, Kostanay, 1 Geologicheskaya Str., tel.: 87772315458, e-mail: mnlv.nv.94@gmail.com.

Kabdusheva Almira Serikpayevna – PhD, Department of agricultural machinery and transport, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, Nauryz micro district, 7–32, tel.: 87789791807, e-mail: 9.12.1989@mail.ru.

IRSTI 68.35.31; 68.35.29
UDC 635.21:631.811.98:620.3
https://doi.org/10.52269/SEPT2631236

EFFECTS OF ARTEMISIA ABSINTHIUM L. AQUEOUS EXTRACT AND BIOSYNTHESIZED IRON NANOPARTICLES ON THE YIELD AND QUALITY OF COLOMBO POTATO TUBERS

Seitkhanova K.K. – PhD student, Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan.*

Anikina I. N. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan.

The study evaluated the effects of foliar application of an Artemisia absinthium L. aqueous extract and a formulation containing biosynthesized iron nanoparticles (FeNPs) on the quality and tuber yield of the early-maturing potato cultivar 'Colomba' under field conditions of the Pavlodar region of Kazakhstan. The aqueous extract was prepared from dried aerial parts of A. absinthium, while FeNPs were synthesized using the plant extract and $FeCl_3$ as a precursor. Scanning electron microscopy confirmed the formation of nanoscale particles with irregular, predominantly rounded morphology and pronounced agglomeration; representative individual particle measurements were 35.99, 45.86, and 61.08 nm. Both formulations were applied by foliar spraying according to three schemes: once before flowering, once during flowering, or twice at both stages. Potato yield was evaluated separately in the 2024 and 2025 growing seasons. Two-way ANOVA showed significant effects of treatment on total tuber number ($F(6,126) = 4.603$, $p < 0.001$) and total tuber weight ($F(6,126) = 7.382$, $p < 0.001$), as well as significant effects of year on both parameters. No significant treatment × year interaction was detected. Planned comparisons with Holm adjustment showed that double application of the aqueous extract and double application of the FeNP-containing formulation significantly increased total tuber number compared with the control. Double-application of both formulations also significantly increased total tuber weight, while significant increases in tuber weight were additionally observed for single pre-flowering applications of both formulations and for the FeNP-containing formulation applied during flowering. In the 2025 crop, starch content ranged from 5.48 to 10.14%, vitamin C from 18 to 30 mg/100 g, nitrate content from 40.6 to 69.2 mg/kg, and dry matter from 14.65 to 19.60%; these biochemical differences were interpreted descriptively because statistical significance was not established for these parameters. No treatment-related deterioration in the assessed browning characteristics of raw or cooked tubers was observed. The results indicate that double foliar application of the A. absinthium aqueous extract or the FeNP-containing formulation was the most consistently effective application scheme for improving 'Colomba' potato yield under the conditions of this two-year field experiment.

Keywords: *Artemisia absinthium L., biosynthesized iron nanoparticles, foliar application, potato, aqueous extract, tuber quality, green synthesis.*

ARTEMISIA ABSINTHIUM L. СУ СЫҒЫНДЫСЫ МЕН БИОСИНТЕЗДЕЛГЕН ТЕМІР НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ «КОЛОМБО» СОРТТЫ КАРТОПТЫҢ ӨНІМДІЛІГІ МЕН ТҮЙНЕК САПАСЫНА ӘСЕРІ

Сейтханова К.К. – докторант, «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы.*

Аникина И.Н. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы.

Зерттеуде Қазақстанның Павлодар облысының далалық жағдайында Artemisia absinthium L. су сығындысы мен биосинтезделген темір нанобөлшектері (FeNPs) бар препаратты жапырақ арқылы

қолданудың ерте пісетін «Коломбо» картоп сортының өнімділігі мен түйнек сапасына әсері бағаланды. Су сығындысы A. absinthium өсімдігінің кептірілген жерүсті бөлігінен алынды, ал темір нанобөлшектері өсімдік сығындысын және прекурсор ретінде $FeCl_3$ пайдалану арқылы синтезделді. Сканерлеуші электрондық микроскопия наноөлшемді, пішіні дұрыс емес, негізінен дөңгелек және айқын агломерацияланған бөлшектердің түзілгенін растады; микрофотосуретте өлшенген жекелеген бөлшектердің репрезентативті өлшемдері 35,99; 45,86 және 61,08 нм болды. Екі препарат та жапырақ арқылы бүрку жолымен үш схема бойынша қолданылды: гүлденуге дейін бір рет, гүлдену кезінде бір рет және екі кезеңде екі рет. Картоп өнімділігі 2024 және 2025 жылдардағы вегетациялық кезеңдер бойынша жеке бағаланды. Екі факторлы дисперсиялық талдау өңдеу нұсқасының түйнектердің жалпы санына ($F(6,126) = 4,603$; $p < 0,001$) және жалпы массасына ($F(6,126) = 7,382$; $p < 0,001$), сондай-ақ жылдың екі көрсеткішке де статистикалық маңызды әсерін көрсетті. «Өңдеу нұсқасы × жыл» өзара әрекеттесуі статистикалық маңызды болған жоқ. Холм түзетуімен жүргізілген жоспарлы салыстырулар су сығындысын да, FeNPs бар препаратты да екі рет қолдану бақылаумен салыстырғанда түйнектердің жалпы санын статистикалық маңызды арттырғанын көрсетті. Екі препаратты екі рет қолдану түйнектердің жалпы массасын да статистикалық маңызды арттырды. Сонымен қатар, гүлденуге дейін екі препаратты бір рет қолданғанда және FeNPs бар препаратты гүлдену кезінде қолданғанда түйнектердің жалпы массасының статистикалық маңызды артуы байқалды. 2025 жылғы өнімде крахмал мөлшері 5,48-10,14%, С дәрумені 18-30 мг/100 г, нитраттар 40,6-69,2 мг/кг, ал құрғақ зат мөлшері 14,65-19,60% аралығында болды. Бұл биохимиялық көрсеткіштер бойынша статистикалық маңыздылық анықталмағандықтан, байқалған айырмашылықтар ситаттамалық тұрғыдан бағаланды. Өңдеулерге байланысты шикі немесе пісірілген түйнектердің зерттелген қараю көрсеткіштерінің нашарлауы байқалмады. Зерттеу нәтижелері осы екі жылдық далалық тәжірибе жағдайында A. absinthium су сығындысын немесе FeNPs бар препаратты екі рет жапырақ арқылы қолдану «Коломбо» сорты картобының өнімділігін арттырудың ең тұрақты тиімді схемасы болғанын көрсетті.

Түйінді сөздер: *ArtemisiaabsinthiumL., биосинтезделген темір нанобөлшектері, жапырақ арқылы өңдеу, картоп, су сығындысы, түйнек сапасы, жасыл синтез.*

ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА ARTEMISIA ABSINTHIUM L. И БИОСИНТЕЗИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ СОРТА КОЛОМБО

Сейтханова К.К. – докторант, НАО «Торайгыров университет», г. Павлодар, Республика Казахстан.*

Аникина И.Н. – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор, НАО «Торайгыров университет», г. Павлодар, Республика Казахстан.

В исследовании оценивали влияние внекорневого применения водного экстракта Artemisia absinthium L. и препарата, содержащего биосинтезированные наночастицы железа (FeNPs), на продуктивность и качество клубней раннеспелого сорта картофеля «Коломбо» в полевых условиях Павлодарской области Казахстана. Водный экстракт получали из высушенной надземной части A. absinthium, а наночастицы железа синтезировали с использованием растительного экстракта и $FeCl_3$ в качестве прекурсора. Сканирующая электронная микроскопия подтвердила образование наноразмерных частиц неправильной, преимущественно округлой формы с выраженной агломерацией; репрезентативные размеры отдельных частиц на микрофотографии составляли 35,99; 45,86 и 61,08 нм. Оба препарата применяли путём внекорневого опрыскивания по трём схемам: однократно до цветения, однократно во время цветения и двукратно на обеих стадиях. Продуктивность картофеля оценивали отдельно в вегетационные сезоны 2024 и 2025 гг. Двухфакторный дисперсионный анализ выявил статистически значимое влияние варианта обработки на общее количество клубней ($F(6,126) = 4,603$; $p < 0,001$) и их общую массу ($F(6,126) = 7,382$; $p < 0,001$), а также значимое влияние года на оба показателя. Взаимодействие факторов «вариант обработки × год» статистически значимым не было. Плановые сравнения с поправкой Холма показали, что двукратное применение как водного экстракта, так и препарата с FeNPs статистически значимо увеличивало общее количество клубней по сравнению с контролем. Двукратное применение обоих препаратов также обеспечивало статистически значимое увеличение общей массы клубней. Кроме того, значимое увеличение массы клубней отмечено при однократном применении обоих препаратов до цветения и препарата с FeNPs во время цветения. В урожае 2025 г. содержание крахмала составляло 5,48-10,14%, витамина С – 18-30 мг/100 г, нитратов – 40,6-69,2 мг/кг, сухого вещества – 14,65-19,60%. Поскольку статистическая значимость различий этих биохимических показателей не была установлена, наблюдаемые различия интерпретировали описательно. Ухудшения исследованных показателей потемнения сырых и варёных клубней, связанного с обработками, не выявлено. Полученные результаты показывают, что двукратное внекорневое применение водного экстракта A. absinthium или препарата с FeNPs было наиболее стабильно эффективной схемой повышения продуктивности картофеля сорта «Коломбо» в условиях данного двухлетнего полевого эксперимента.

Ключевые слова: *Artemisiaabsinthium L., биосинтезированные наночастицы железа, фолиарная обработка, картофель, водный экстракт, качество клубней, зелёный синтез.*

Introduction. Potato (Solanum tuberosum L.) is one of the world's most important food crops and ranks fourth in global human consumption after maize, wheat, and rice [1, p.1]**.** Owing to its high content of carbohydrates, vitamins, and minerals, potato plays a crucial role in ensuring food security [2, p. 119]. In recent years, increasing attention has been paid not only to improving crop productivity but also to enhancing tuber quality, which determines the nutritional and biological value of potato. As a highly productive food crop, potato is characterized by intensive accumulation of dry matter and biologically valuable compounds. Consequently, starch, dry matter, and vitamin C contents are regarded as the principal quality indicators of potato tubers in food biotechnology [3, p. 487, 4, c. 533].

These characteristics are largely influenced by cultivar-specific traits, environmental conditions, and agronomic management practices [4]. Early-maturing potato cultivars generally contain relatively low starch levels and high tuber moisture content, limiting their suitability for industrial starch production. Nevertheless, they are highly valued for dietary and functional nutrition because of their desirable taste, tender flesh texture, and elevated content of biologically active compounds [5. pp. 823-825, ,6. pp. 34-36].

Another important quality parameter is the nitrate content of potato tubers. Nitrate accumulation is closely associated with plant mineral nutrition, particularly nitrogen fertilization. Although nitrates are natural constituents of soils and are essential for plant growth, their excessive accumulation in agricultural products is considered undesirable. After ingestion, nitrates may be reduced to nitrites, which exhibit greater biological activity and may pose potential health risks. Therefore, monitoring nitrate concentrations is an important criterion for assessing the safety and quality of potato tubers [7, pp. 41-43].

The potato cultivar Colombo belongs to the group of early-maturing table cultivars [8. p.1] and is widely cultivated for early-season production. Therefore, evaluating its biochemical composition and food safety indicators is of considerable practical importance for both the food industry and the catering sector.

The research aim was to evaluate the effects of foliar application of an Artemisia absinthium L. aqueous extract and a preparation based on this extract containing biosynthesized iron nanoparticles (FeNPs) on potato yield, biochemical composition, and tuber quality of the early-maturing cultivar Colombo.

Research objective: To evaluate the effects of foliar application of an Artemisia absinthium L. aqueous extract and a biosynthesized iron nanoparticle (FeNP)-containing formulation, applied at different growth stages, on the productivity, biochemical characteristics, and technological quality of ‘Colomba’ potato tubers under field conditions.

Tasks: The study was designed to evaluate the effects of different foliar application schemes of Artemisia absinthium L. aqueous extract and the FeNP-containing formulation on the yield of ‘Colomba’ potato during two growing seasons; to assess changes in the biochemical characteristics of the tubers, including starch, vitamin C, nitrate, dry matter, and moisture contents; and to determine whether the studied treatments affected the technological quality of the tubers, as assessed by the resistance of raw and cooked tuber flesh to browning.

Materials and Methods. To study the effect of an Artemisia absinthium L. aqueous extract in its pure form and in combination with biosynthesized iron nanoparticles on potato yield and yield structure, a field experiment was established at the Arman farming enterprise in the Pavlodar Region. The study was conducted during the 2024-2025 growing seasons on the potato cultivar Colombo in accordance with the Methods of Field Experiment (Dospekhov B.A., 1979).

Potatoes were grown under open-field conditions in small experimental plots of 100 m^2 with four replications in compliance with the agronomic practices adopted for this crop. The experiment was carried out using agronomic practices corresponding to the Dutch potato cultivation technology. Planting was performed using a Kramer potato planter during the period from 1 to 5 May according to the 75 × 40 cm planting scheme.

Before planting, the tubers were treated with TMTD VSK at a rate of 5 L/t. During the growing season, pre-emergence treatment with Tornado herbicide was carried out at a rate of 7 L/ha. To maintain soil moisture in the active soil layer at not less than 80% of field capacity throughout the growing season, 5 to 8 irrigations were carried out depending on the weather conditions of the year, with an irrigation rate of 2500-3000 m^3/ha. Irrigation was performed using a Valley Ranger sprinkler irrigation system. The experimental plots were harvested manually during the last ten days of July.

The Artemisia absinthium L. stock aqueous extract was prepared from dried plant material at a ratio of 10 g per 100 mL of distilled water (100 g L^{-1}). The plant material was extracted at 60-70 °C for 30 min, and the resulting extract was filtered. For the extract-only treatment, the stock extract was diluted with water at a ratio of 1:3 (v/v), resulting in a 25% (v/v) working extract, equivalent to 25 g of initial dry plant material per litre of working solution.

For preparation of the FeNP-containing formulation, 900 mL of the stock A. absinthium aqueous extract was mixed with 100 mL of 0.1 M $FeCl_3$ solution used as the iron precursor. The reaction mixture was allowed to react for 90 min and was subsequently diluted with 3 L of water to a final working volume of 4 L. The resulting formulation therefore contained 22.5% (v/v) of the initial plant extract, while the amount of $FeCl_3$ introduced during synthesis corresponded to a precursor equivalent of 2.5 mM when calculated for the final working

volume. The biosynthesized nanoparticles were not isolated or dried prior to field application; therefore, the mass concentration of FeNPs in the working formulation was not determined separately. The freshly prepared reaction mixture was used directly for foliar treatment.

The formation and morphology of FeNPs obtained using this synthesis protocol were confirmed by scanning electron microscopy (SEM). SEM analysis revealed nanoscale particles with irregular, predominantly rounded morphology and pronounced agglomeration. Representative measurements of individual particles shown in the SEM micrograph were 35.99, 45.86, and 61.08 nm (Figure 1).

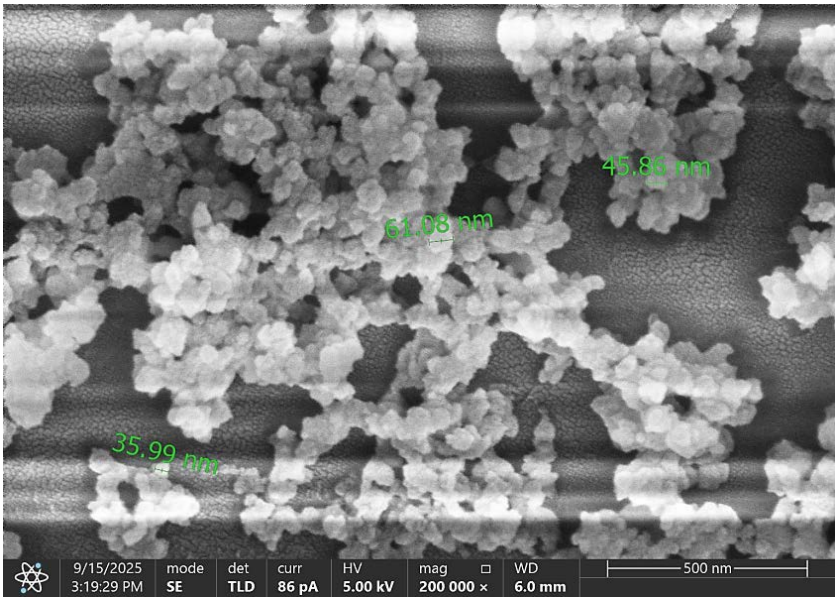


Figure 1 – SEM micrograph of iron nanoparticles biosynthesized using Artemisia absinthium L. aqueous extract. Representative particle measurements (35.99, 45.86, and 61.08 nm) are indicated in the image

Both the aqueous extract and the FeNP-containing formulation were applied exclusively by foliar spraying. The volume of working solution was adjusted according to plant developmental stage and canopy size to ensure uniform wetting of the leaf surface. Approximately 20-25 mL plant^{-1} of working solution was applied during the pre-flowering treatment, whereas approximately 40-50 mL plant^{-1} was applied during flowering. For treatments involving two applications, the plants were sprayed at both stages using the corresponding application volume.

Six treatment variants and a water-treated control were evaluated, comprising two formulations and three foliar application schemes. The Artemisia absinthium L. aqueous extract was applied as a single treatment before flowering (WE-BF), as a single treatment at flowering (WE-FL), or as a double treatment at both stages (WE-DA). The FeNP-containing formulation was applied according to the same schemes: a single treatment before flowering (FeNPs-BF), a single treatment at flowering (FeNPs-FL), or a double treatment at both stages (FeNPs-DA). Control plants were sprayed with water. The pre-flowering treatment was performed approximately 30 days after planting, and the flowering-stage treatment was carried out approximately 20 days after the first treatment.

Each treatment comprised 100 experimental plants. In each year of the study, 10 plants per treatment were selected for yield assessment using systematic sampling, with every tenth plant included in the sample. Thus, yield was assessed on 10 plants per treatment in 2024 and 10 plants per treatment in 2025. The number of tubers and total tuber weight were determined individually for each selected plant.

The obtained data were processed using IBM SPSS Statistics software. The effects of treatment and year on potato yield were evaluated using two-way analysis of variance (ANOVA), with treatment and year considered as fixed factors. The treatment × year interaction was also included in the model. The analysis was performed separately for total tuber number and total tuber weight per plant. Following ANOVA, planned comparisons between each treatment and the water-treated control were performed, with Holm adjustment for multiple comparisons. Differences were considered statistically significant at $p \leq 0.05$.

Along with total yield, the yield of marketable tubers was of considerable importance; according to the standard, tubers weighing more than 50 g were classified as marketable, those weighing 30-50 g as seed tubers, and those weighing less than 30 g as non-standard tubers, in accordance with the requirements of GOST R 7176-2017 "Food Potatoes. Specifications." The obtained data are presented in Table 1.

The chemical composition of potato tubers was analyzed at the Research Laboratory for Food Quality and Safety Assessment of Almaty Technological University on the basis of laboratory test reports.

Starch content was determined in accordance with the requirements of GOST 7194-81 "Fresh Potatoes. Acceptance Rules and Methods for Quality Determination." Vitamin C content was determined by the titrimetric

method according to GOST 24556-89 "Processed Fruit and Vegetable Products. Methods for the Determination of Vitamin C." Nitrate content was determined in accordance with GOST 29270-95 "Processed Fruit and Vegetable Products. Methods for the Determination of Nitrates."

Dry matter and moisture contents in potato tubers were determined at the Department using a RADWAG MAC 210 moisture analyzer in accordance with the manufacturer's instructions.

The technological properties of potato were evaluated by the resistance of tuber flesh to browning. The browning of raw potato flesh was evaluated by visual assessment of changes in the colour of the cut surface over time, based on the approaches and methods described in scientific publications by other authors and widely used in potato breeding and technological studies [2, p. 120,9. p. 208,10. p.9].

To evaluate the browning of raw tubers, the tubers were peeled, cut longitudinally into two halves (from the apical end to the stolon end), and placed in Petri dishes exposed to air. Visual assessment of the degree of flesh browning was carried out 30 min, 3 h, and 24 h after cutting the tubers. The intensity of browning was evaluated using a nine-point scale: 9 points – the flesh colour did not change; 7 points – slight change in flesh colour; 5 points – moderate browning; 3 points – severe browning; 1 point – very severe browning of the flesh [9. p.210,10 p.9].

The browning of cooked tubers was evaluated immediately after boiling (after 20 min) and repeatedly after 3 h and 24 h. For this purpose, 5 tubers from each treatment were boiled in their skins without allowing them to overcook, after which the tubers were peeled, cut into two halves, and one half of each tuber was left exposed to air on filter paper. The intensity of browning was evaluated at the stolon end and at the apical end of the tuber. The average browning score was calculated as the mean value of the two assessment times using the nine-point scale for evaluating the resistance of potato flesh to browning applied in similar studies [2, p. 120,10. p. 9].

Results and Discussion. The data obtained during the study on the total yield and yield structure of potato under the experimental treatments were summarized and are presented in Table 1

Table 1 – Effect of the studied treatments on the Colombo potato yield (mean for 2024-2025)

Treatment	Total tuber number (tubers plant^{-1}), 2024	Total tuber number (tubers plant^{-1}), 2025	Total tuber weight (g plant^{-1}), 2024	Total tuber weight (g plant^{-1}), 2025
WE-BF	18.30 ± 3.65	20.40 ± 3.24	1254.6 ± 307.1	1622.6 ± 226.1
WE-DA	21.00 ± 8.88	21.30 ± 3.20	1390.3 ± 472.1	1938.9 ± 572.7
WE-FL	17.40 ± 3.84	18.80 ± 3.65	1191.4 ± 337.4	1352.1 ± 203.8
FeNPs-BF	15.50 ± 2.59	17.00 ± 2.49	1203.2 ± 365.6	1872.3 ± 125.0
FeNPs-DA	21.30 ± 2.87	21.60 ± 4.50	1386.6 ± 410.3	2039.4 ± 503.3
FeNPs-FL	15.90 ± 3.25	19.50 ± 3.44	1220.5 ± 254.0	1574.5 ± 287.6
Control	16.10 ± 5.74	17.80 ± 3.12	1018.6 ± 207.4	1229.8 ± 233.4

Potato yield differed between the two years of the study, with generally higher values recorded in 2025 than in 2024 (Table 1). Two-way ANOVA confirmed a significant effect of year on both total tuber number ($F(1,126) = 4.800$, $p = 0.030$) and total tuber weight ($F(1,126) = 52.707$, $p < 0.001$). Treatment also had a significant effect on total tuber number ($F(6,126) = 4.603$, $p < 0.001$) and total tuber weight ($F(6,126) = 7.382$, $p < 0.001$). However, the treatment × year interaction was not significant for either total tuber number ($F(6,126) = 0.362$, $p = 0.902$) or total tuber weight ($F(6,126) = 1.754$, $p = 0.114$), indicating that although the absolute yield differed between years, the overall pattern of treatment responses was comparable.

Among the treatments, double foliar application produced the most consistent increase in yield. For the Artemisia absinthium L. aqueous extract (WE-DA), the mean number of tubers was 21.00 tubers plant^{-1} in 2024 and 21.30 tubers plant^{-1} in 2025, compared with 16.10 and 17.80 tubers plant^{-1}, respectively, in the control. The corresponding total tuber weights were 1390.3 and 1938.9 g plant^{-1} for WE-DA, compared with 1018.6 and 1229.8 g plant^{-1} in the control. Planned comparisons with Holm adjustment confirmed that WE-DA significantly increased both total tuber number (adjusted $p = 0.008$) and total tuber weight (adjusted $p < 0.001$) relative to the control.

A similar response was observed for the FeNP-containing formulation. Double application (FeNPs-DA) resulted in 21.30 and 21.60 tubers plant^{-1} in 2024 and 2025, respectively, with corresponding total tuber weights of 1386.6 and 2039.4 g plant^{-1}. Compared with the control across the two-year dataset, FeNPs-DA significantly increased both total tuber number (adjusted $p = 0.005$) and total tuber weight (adjusted $p < 0.001$). The other application schemes did not significantly affect tuber number relative to the control. For total tuber weight, significant increases were also detected for WE-BF (adjusted $p = 0.016$), FeNPs-BF (adjusted $p = 0.001$), and FeNPs-FL (adjusted $p = 0.030$), whereas the difference for WE-FL was not significant (adjusted $p = 0.186$).

The observed response to the aqueous plant extract is consistent with the general concept that plant-extract-based biostimulants may influence crop productivity through complex mixtures of biologically active plant metabolites. A large field-trial meta-analysis showed that plant extracts were among the most effective categories of non-microbial biostimulants, although the magnitude of the response varied according to crop, environmental conditions, application method, dose, and frequency [15, pp. 4-6]. In potato, hormonal regulation

is closely associated with tuber initiation and development. Auxin-related processes have been shown to affect assimilate influx, starch biosynthesis, tuber size, tuber weight, and tuber development [11, p. 3].

The positive effect of the FeNP-containing formulation may also be associated with the physiological role of iron in plant metabolism. Iron is involved in electron transport, photosynthesis, respiration, and chlorophyll synthesis [12, p. 24]. Experimental evidence further indicates that iron oxide nanoparticles can influence plant growth and photosynthetic processes and may improve iron availability in plant tissues [12., p. 3].

Plant extracts contain various phytochemicals, including phenolic compounds, reducing sugars, ascorbic acid, and other polyphenolic constituents, which may act as reducing and stabilizing agents during green nanoparticle synthesis [14, p. 2].

Overall, double application of either the A. absinthium aqueous extract or the FeNP-containing formulation produced the most consistent response, increasing both tuber number and tuber weight. The absence of a significant treatment × year interaction indicates that the relative pattern of treatment effects was maintained across the two growing seasons despite differences in absolute yield between years. This finding is also compatible with published evidence showing that biostimulant effectiveness depends strongly on application management and environmental conditions rather than being constant across all cultivation situations [15, pp. 4-6].

Table 2 – Quality characteristics of the 2025 potato crop

Treatment	Code	Starch content (%)	Vitamin C content (mg/100 g)	Nitrate content (mg/kg)	Dry matter/Moisture content (% of fresh weight)
WE-BF	5.97	18 ± 0.2	67.8 ± 1.02	15.157/84.843	
2	WE-DA	6.71	23 ± 0.3	61.3 ± 0.92	14.655/85.345
3	WE-FL	9.98	27 ± 0.4	45.8 ± 0.50	15.314/84.686
4	FeNPs-BF	7.42	25 ± 0.3	58.9 ± 0.88	19.603/80.397
5	FeNPs-DA	10.14	28 ± 0.5	40.6 ± 0.57	17.542/82.458
6	FeNPs-FL	5.48	30 ± 0.3	69.2 ± 0.90	15.784/84.216
7	Control	9.68	23 ± 0.3	49.7 ± 0.87	15.450/84.550

The biochemical characteristics of ‘Colomba’ potato tubers varied among the studied treatments (Table 2). Starch content ranged from 5.48 to 10.14%, while dry matter content ranged from 14.65 to 19.60%. For comparison, reference values reported for the ‘Colomba’ cultivar are 10.9% starch and 16.7% dry matter [8]. Vitamin C content ranged from 18 to 30 mg/100 g, with the highest value recorded for FeNPs-FL (30 mg/100 g), followed by FeNPs-DA (28 mg/100 g) and WE-FL (27 mg/100 g), whereas the control contained 23 mg/100 g. Nitrate content ranged from 40.6 to 69.2 mg/kg, with the lowest value recorded for FeNPs-DA (40.6 mg/kg), compared with 49.7 mg/kg in the control. The highest dry matter content was recorded for FeNPs-BF (19.60%), compared with 15.45% in the control. Moisture content varied inversely with dry matter content and ranged from 80.40 to 85.35%. Since statistical significance was not established for these biochemical parameters, the observed differences should be interpreted as treatment-associated variation rather than as statistically confirmed treatment effects.

The observed variation in tuber biochemical composition may reflect changes in plant physiological and metabolic processes associated with the treatments. Iron is involved in chlorophyll biosynthesis, photosynthesis, chloroplast development, dark respiration, and the activity of several respiratory enzymes [13. p. 3]. Iron nanoparticles may also affect iron availability in plant tissues and thereby influence plant physiological processes [13. p. 3]. Nevertheless, the present results do not establish a direct mechanistic relationship between FeNP application and changes in individual biochemical characteristics of potato tubers.

Overall, the studied treatments did not result in a consistent deterioration of the main biochemical quality characteristics of the tubers, although treatment-dependent variation was observed for individual parameters.

Table 3 – Technological properties of potato (mean values for two years)

Preparation	Treatment	Browning score, points					
		Cooked tubers			Raw tubers		
		20 min	3 h	24 h	30 min	3 h	24 h
Artemisia absinthium aqueous extract	WE-BF	9	9	9	9	8	6
	WE-DA	9	9	9	9	8	6
	WE-FL	9	9	9	9	8	6
Artemisia absinthium extract + FeNPs	FeNPs-BF	9	9	9	9	8	6
	FeNPs-DA	9	9	9	9	8	6
	FeNPs-FL	9	9	9	9	8	6
Control (water)	Control	9	9	9	9	8	6

The assessment of technological properties showed no differences in flesh browning scores among the studied treatments (Table 3). Cooked tubers retained the maximum score of 9 points throughout the observation period, indicating the absence of visible flesh darkening under the conditions of the test. In raw tubers, the browning score was 9 points 30 min after cutting, decreased to 8 points after 3 h, and reached 6 points after 24 h. The same pattern was observed in all treatment groups, including the water-treated control, indicating that foliar application of either the Artemisia absinthium L. aqueous extract or the FeNP-containing formulation did not alter the resistance of tuber flesh to browning.

Flesh browning is an important technological quality characteristic of potato tubers because changes in colour after peeling, cutting, or cooking may affect their suitability for processing and consumer acceptance. Enzymatic browning of raw potato tissue is primarily associated with polyphenol oxidase activity and the oxidation of phenolic compounds following tissue damage [16, p. 233; 17, p. 1]. In the present study, the identical browning scores observed among the treatments indicate that the changes in yield and biochemical characteristics associated with the studied preparations were not accompanied by detectable changes in this technological quality parameter. Thus, under the conditions of the present experiment, both the A. absinthium aqueous extract and the FeNP-containing formulation maintained the browning characteristics observed in the untreated ‘Colomba’ control.

Conclusions. The results of the two-year field study showed that foliar application of the Artemisia absinthium L. aqueous extract and the FeNP-containing formulation affected the yield of ‘Colomba’ potato, with the magnitude of the response depending on the application scheme. Two-way ANOVA demonstrated significant effects of treatment on both total tuber number ($F(6,126) = 4.603$, $p < 0.001$) and total tuber weight ($F(6,126) = 7.382$, $p < 0.001$). A significant year effect was also observed for tuber number ($F(1,126) = 4.800$, $p = 0.030$) and tuber weight ($F(1,126) = 52.707$, $p < 0.001$), whereas the treatment × year interaction was not significant for either parameter.

Double foliar application produced the most consistent yield response. The A. absinthium aqueous extract applied twice (WE-DA) increased both total tuber number (adjusted $p = 0.008$) and total tuber weight (adjusted $p < 0.001$) compared with the water-treated control across the two-year dataset. Similarly, double application of the FeNP-containing formulation (FeNPs-DA) significantly increased total tuber number (adjusted $p = 0.005$) and total tuber weight (adjusted $p < 0.001$). Significant increases in total tuber weight were also observed for WE-BF (adjusted $p = 0.016$), FeNPs-BF (adjusted $p = 0.001$), and FeNPs-FL (adjusted $p = 0.030$), whereas the remaining differences were not statistically significant.

The studied treatments were not associated with a consistent deterioration in the measured biochemical quality characteristics of the tubers. Starch, vitamin C, nitrate, dry matter, and moisture contents showed treatment-associated variation; however, statistical significance was not established for these biochemical parameters. Likewise, no differences in flesh browning scores were observed among the treatments and the water-treated control: cooked tubers retained a score of 9 points throughout the observation period, while raw tubers showed the same pattern of 9, 8, and 6 points after 30 min, 3 h, and 24 h, respectively.

Overall, the results indicate that double foliar application of either the A. absinthium aqueous extract or the FeNP-containing formulation was the most consistently effective application scheme for improving the yield of ‘Colomba’ potato under the conditions of the present two-year field experiment without detectable deterioration in the measured tuber quality parameters. Because the study was conducted using a single potato cultivar and under the agroclimatic conditions of the Pavlodar Region, further studies involving additional cultivars, environments, and growing seasons are required before broader recommendations for potato production can be made.

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

REFERENCES:

1. **Ahmadu T., Abdullahi A., Ahmad K. The role of crop protection in sustainable potato (Solanum tuberosum L.) production to alleviate global starvation problem: An overview.** IntechOpen, 2021. DOI: 10.5772/intechopen.100058.

2. **Pityurina I.S., Vinogradov D.V., Novikova A.V. Produktivnost' i tehnologicheskie pokazateli kachestva klubnej sortov kartofelya, vy'rashhenny'h v usloviyah Nechernozemnoj zony'** [Productivity and technological quality indicators of potato tubers grown under conditions of the Non-Chernozem zone]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, no. 1 (166), pp. 118-125. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-118-125. (In Russian)

3. **Ezekiel R., Singh N., Sharma S. et al. Beneficial phytochemicals in potato – a review.** *Food Research International,* 2013, vol. 50, no. 2, pp. 487-496. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.04.025.

4. **Burgos G., Auqui S., Amoros W. et al. Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage.** *Journal of Food Composition and Analysis,* 2009, vol. 22, no. 6, pp. 533-538. DOI: 10.1016/j.jfca.2008.05.013.

5. **Camire M.E., Kubow S., Donnelly D.J. Potatoes and human health.** *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* 2009, vol. 49, no. 10, pp. 823-840. DOI: 10.1080/10408390903041996.

6. **Sergeeva Z.F., Sinitsyna S.M., Lyskova I.V. et al. Ocenka sortov kartofelya po urozhainosti i biohimicheskim pokazatelyam v usloviyah Kirovskoj oblasti** [Evaluation of potato varieties by yield and biochemical parameters under conditions of the Kirov region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka,* 2018, no. 3 (64), pp. 34-38. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.64.3.34-38. (In Russian)

7. **Tivo P.F., Saskevich L.A., But E.A. Problema nitratov v rastenievodstve** [Nitrate problem in crop production]. *Melioraciya,* 2016, no. 3, pp. 41-48. (In Russian)

8. **Colomba: rannespely'j stolovy'j sort kartofelya s rano nastupayushhim urozhaem** [Colomba: early-maturing table potato variety with early yield]. PotatoPro. Available at: https://www.potatopro.com/potato-varieties/colomba (accessed 29 January 2026).

9. **Cherezov S.N., Gizatullina A.T., Stashevski Z. Ocenka selekcionnogo materiala kartofelya: opredelenie prigodnosti klubnej dlya promy'shlennoj pererabotki** [Evaluation of potato breeding material: determination of tuber suitability for industrial processing]. *Ucheny'e zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvenny'e nauki*, 2010, vol. 152, no. 2, pp. 207-216. (In Russian)

10. **Gordeeva A.V., Udalova E.Yu. Ocenka kulinarny'h kachestv gibridov kartofelya po priznaku potemneniya myakoti sy'ry'h i vareny'h klubnej** [Evaluation of cooking qualities of potato hybrids by browning of raw and cooked tuber flesh]. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skohozyajstvenny'e nauki. E'konomicheskie nauki",* 2017, vol. 3, no. 3 (11), pp. 7-12. (In Russian)

11. **Kondhare K.R., Patil A.B., Giri A.P. Auxin: An emerging regulator of tuber and storage root development.** *Plant Science*, 2021, vol. 306, art. 110854. DOI: 10.1016/j.plantsci.2021.110854.

12. **Feng Y., Cui X., He S. et al. Effects of iron oxide nanoparticles (Fe_3O_4) on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (Triticum aestivum) plants.** *Plants*, 2022, vol. 11, no. 14, art. 1894. DOI: 10.3390/plants11141894.

13. **Li Y., Zhang W., Niu J. et al. Application and mechanisms of metal-based nanoparticles in the control of bacterial and fungal crop diseases.** *Pest Management Science*, 2023, vol. 79, no. 1, pp. 21-36. DOI: 10.1002/ps.7218.

14. **Jain R., Mendiratta S., Kumar L., Srivastava A. Green synthesis of iron nanoparticles using Artocarpus heterophyllus peel extract and their application as a heterogeneous Fenton-like catalyst for the degradation of Fuchsin Basic dye.** *Current Research in Green and Sustainable Chemistry,* 2021, vol. 4, art. 100086. DOI: 10.1016/j.crgsc.2021.100086.

15. **Li J., Van Gerrewey T., Geelen D. A meta-analysis of biostimulant yield effectiveness in field trials.** *Frontiers in Plant Science*, 2022, vol. 13, article 836702. DOI: 10.3389/fpls.2022.836702.

16. **Snoeck D., de Jesus Raposo M.F., De Morais A.M.M.B. Polyphenol oxidase activity and colour changes of peeled potato (cv. Monalisa) in vacuum.** *International Journal of Postharvest Technology and Innovation,* 2011, vol. 2, no. 3, pp. 233-242. DOI: 10.1504/IJPTI.2011.043329.

17. **Bobo G., Arroqui C., Virseda P. Natural plant extracts as inhibitors of potato polyphenol oxidase: The green tea case study.** *LWT*, 2022, vol. 153, art. 112467. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112467.

18. **Sui X. et al. Enzymatic browning and polyphenol oxidase control strategies.** *Current Opinion in Biotechnology,* 2023, vol. 81, art. 102921. DOI: 10.1016/j.copbio.2023.102921.

Received: 03 August 2026. **Accepted:** 03 September 2026. **Published:** 30 September 2026.

Information about the authors:

Seitkhanova Kumiszhan Kabdyluakhitkyzy – Master of Agricultural Sciences, PhD student, "Biotechnology" educational program, Republic of Kazakhstan, 140000, Pavlodar, Toraighyrov University, 64 Lomov Str., tel.: 87182673641 (ext. 1295), e-mail: seyt.k@inbox.ru.*

Anikina Irina Nikolayevna – Candidate of Agricultural Sciences, Professor, Department of biotechnology, Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, 140000, Pavlodar, 64 Lomov Str., tel.: 87182673641 (ext. 1295), e-mail: anikina.i@mail.ru.

Сейтханова Күміскан Қабдылуахитқызы – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, «Биотехнология» білім беру бағдарламасының докторанты, «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 140000, Павлодар қ., Ломов көш, 64, тел.: 87182673641 (ішкі 1295), e-mail: seyt.k@inbox.ru.*

Аникина Ирина Николаевна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, «Биотехнология» кафедрасының профессоры, «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 140000, Павлодар қ., Ломов көш, 64, тел.: 87182673641 (ішкі 1295), e-mail: anikina.i@mail.ru.

Сейтханова Кумисжан Кабдылуахитқызы – магистр сельскохозяйственных наук, докторант образовательной программы «Биотехнология», НАО «Торайгыров университет», Республика Казахстан, 140000 г. Павлодар, ул. Ломова, 64, тел.: 87182673641 (вн. 1295), e-mail: seyt.k@inbox.ru.*

Аникина Ирина Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии, НАО «Торайгыров университет», Республика Казахстан, 140000, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, тел.: 87182673641 (вн. 1295), e-mail: anikina.i@mail.ru.

МРНТИ 68.35.47
УДК 633.2.031
https://doi.org/10.52269/SEPT2631244

ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА И СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА УРОЖАЙНОСТЬ И КОРМОВУЮ ЦЕННОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ И ТРАВОСМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Саликова Ж.Х. – магистр сельскохозяйственных наук, ассистент лектора кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.*

Байдалина С.Е. – PhD, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Богапов И.М. – PhD, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Байдалин М.Е. – PhD, ассоциированный профессор, руководитель департамента науки и подготовки научных кадров, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты изучения влияния компонентного состава и стимуляторов роста на урожайность и кормовую ценность многолетних трав и травосмесей в условиях Северного Казахстана. Исследования проводили в 2023-2025 гг. на одновидовых посевах люцерны и костреца, смесях люцерны и костреца, а также трёхкомпонентных смесях люцерны, костреца и эспарцета. Применяли препараты Блэкджек, Миллерстарт, Аминомакс и Лидер-с. Определяли урожайность зелёной массы, выход сухого вещества, содержание сырого и переваримого протеина, клетчатки, обменной энергии и кормовых единиц. Максимальная урожайность среди травосмесей получена при сочетании люцерны 40% и костреца 60% с Миллерстартом: урожайность зелёной массы составила 17,88 т/га, сухого вещества – 5,39 т/га. Наиболее сбалансированные показатели кормовой ценности отмечены в смеси люцерны 50%, костреца 30% и эспарцета 20%. При применении Миллерстарта содержание сырого протеина в данном варианте составляло 12,97% в 2024 г. и 13,09% в 2025 г. Корреляционный анализ подтвердил взаимосвязь урожайности, выхода сухого вещества и основных показателей питательности корма. Полученные результаты позволяют рекомендовать совместный подбор компонентного состава и стимулятора роста с учётом требуемой продуктивности и кормовой ценности травостоев.

Ключевые слова: *люцерна, кострец безостый, эспарцет, многолетние травосмеси, стимуляторы роста.*

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА КӨПЖЫЛДЫҚ ШӨПТЕР МЕН ШӨП ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІ МЕН АЗЫҚТЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫНА КОМПОНЕНТТІК ҚҰРАМ МЕН ӨСУ СТИМУЛЯТОРЛАРЫНЫҢ ӘСЕРІ

Саликова Ж.Х. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ауыл шаруашылығы және биоресурстар кафедрасының ассистент-оқытушысы, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.*

Байдалина С.Е. – PhD, ауыл шаруашылығы және биоресурстар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Богапов И.М. – PhD, ауыл шаруашылығы және биоресурстар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Байдалин М.Е. – PhD, қауымдастырылған профессор, Ғылым және ғылыми кадрларды даярлау департаментінің басшысы, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Солтүстік Қазақстан жағдайында компоненттік құрам мен өсу стимуляторларының көпжылдық шөптер мен шөп қоспаларының өнімділігіне және қоректік құндылығына әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеулер 2023–2025 жылдары жоңышқа мен қылтықсыз арпабастың біртүрлі егістерінде, жоңышқа мен қылтықсыз арпабас қоспаларында, сондай-ақ жоңышқа, қылтықсыз арпабас және эспарцеттен тұратын үш компонентті қоспаларда жүргізілді. Блэкджек, Миллерстарт, Аминомакс және Лидер-с препараттары қолданылды. Жасыл масса өнімділігі, құрғақ зат шығымы, шикі және қорытылатын протеин, жасұнық, алмасу энергиясы мен азық өлшемдерінің мөлшері анықталды. Шөп қоспалары арасында ең жоғары өнімділік Миллерстарт қолданылған жоңышқа 40% және қылтықсыз арпабас 60% нұсқасында алынды: жасыл масса өнімділігі 17,88 т/га,

құрғақ зат шығымы 5,39 т/га құрады. Қоректік құндылықтың неғұрлым теңгерімді көрсеткіштері жоңышқа 50%, қылтықсыз арпабас 30% және эспарцет 20% қоспасында анықталды. Миллерстарт қолданылған кезде осы нұсқадағы шикі протеин мөлшері 2024 жылы 12,97%, ал 2025 жылы 13,09% болды. Корреляциялық талдау өнімділік, құрғақ зат шығымы және азықтың негізгі қоректілік көрсеткіштері арасындағы өзара байланысты растады. Алынған нәтижелер шөп отының қажетті өнімділігі мен қоректік құндылығын ескере отырып, компоненттік құрам мен өсу стимуляторын бірлесіп таңдауды ұсынуға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: *жоңышқа, қылтықсыз арпабас, эспарцет, көпжылдық шөп қоспалары, өсу стимуляторлары.*

EFFECT OF COMPONENT COMPOSITION AND GROWTH STIMULANTS ON THE YIELD AND NUTRITIVE VALUE OF PERENNIAL GRASSES AND GRASS MIXTURES UNDER THE CONDITIONS OF NORTHERN KAZAKHSTAN

*Salikova Zh.Kh. * – Master of Agricultural Sciences, Assistant Lecturer, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NJSC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.*

Baidalina S.Ye. – PhD, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NJSC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Bogapov I.M. – PhD, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NJSC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Baidalin M.Ye. – PhD, Associate Professor, Head of the Department of science and training of scientific personnel, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NJSC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of a study on the effects of component composition and growth stimulants on the yield and nutritive value of perennial grasses and grass mixtures under the conditions of Northern Kazakhstan. The research was conducted in 2023–2025 using pure stands of alfalfa and smooth brome, mixtures of alfalfa and smooth brome, and three-component mixtures of alfalfa, smooth brome, and sainfoin. Black Jak, Miller Start, AminoMax, and Lider-S were applied. Green mass yield, dry matter yield, and the content of crude and digestible protein, fiber, metabolizable energy, and feed units were determined. Among the grass mixtures, the highest yield was obtained from the mixture containing 40% alfalfa and 60% smooth brome treated with Miller Start: green mass yield reached 17.88 t/ha, while dry matter yield was 5.39 t/ha. The most balanced nutritive value was observed in the mixture containing 50% alfalfa, 30% smooth brome, and 20% sainfoin. When Miller Start was applied, the crude protein content in this treatment was 12.97% in 2024 and 13.09% in 2025. Correlation analysis confirmed the relationships among yield, dry matter yield, and the main indicators of forage nutritive value. The research results support the combined selection of component composition and growth stimulant according to the required productivity and nutritive value of the sward.

Keywords: *alfalfa, smooth brome, sainfoin, perennial grass mixtures, growth stimulants.*

Введение. Многолетние бобовые и злаковые травы имеют важное значение для устойчивого кормопроизводства. Совместное выращивание видов, различающихся по морфологическим и биологическим особенностям, способствует более полному использованию влаги, света и элементов питания. Благодаря этому травосмеси могут превосходить одновидовые посевы по продуктивности и устойчивости формирования урожая [1, с. 1; 2, с. 1188].

Эффективность смешанных посевов зависит от подбора культур и соотношения компонентов. Включение люцерны в злаковые травостои повышает долю бобового компонента, содержание протеина и общую питательность корма [3, с. 628]. Однако чрезмерное преобладание одного вида может усиливать межвидовую конкуренцию и снижать стабильность травостоя. Исследования люцернозлаковых смесей показывают, что изменение соотношения компонентов существенно влияет на урожайность и показатели кормовой ценности [4, с. 6; 9-10].

Формирование урожая определяется не только видовым составом, но и условиями роста отдельных компонентов. Различия бобовых и злаковых культур по темпам развития, структуре травостоя и использованию солнечной радиации обеспечивают более равномерное накопление растительной массы [5, с. 1]. При удачном сочетании компонентов смешанные посевы сохраняют урожайность и эффективнее используют доступные ресурсы по сравнению с монокультурами [6, с. 337-338].

Одним из способов повышения продуктивности многолетних трав является применение стимуляторов роста [7, с. 24]. Они могут активизировать начальный рост растений, улучшать формирование надземной массы и повышать устойчивость травостоев к неблагоприятным условиям. При этом результат обработки зависит от биологических особенностей культур, состава смеси и погодных условий [8, с. 54-55]. Положительное действие стимуляторов на урожайность люцерны и бобово-злаковых травосмесей установлено в ряде исследований [9, с. 5689; 10, с. 1-2].

Несмотря на имеющиеся данные, влияние различных соотношений люцерны, костреца и эспарцета в сочетании со стимуляторами роста на урожайность и кормовую ценность травостоев разных лет жизни в условиях Северного Казахстана изучено недостаточно. Это определяет необходимость ком-

плексной оценки урожайности зелёной массы, выхода сухого вещества и основных показателей питательности корма.

Целью исследования является установление влияния компонентного состава и стимуляторов роста на урожайность и кормовую ценность многолетних травосмесей в условиях Северного Казахстана.

Задачей исследования являлась сравнительная оценка урожайности зелёной и сухой массы, химического состава и питательности корма с выявлением наиболее эффективных сочетаний компонентов травосмесей и стимуляторов роста.

Материалы и методы исследований. Полевые исследования проводили в 2023-2025 гг. в Зерендинском районе Акмолинской области. Почва опытного участка – чернозём обыкновенный среднесуглинистый с содержанием гумуса 5,4%, pH 8,2, нитратного азота 4,3–5,75 мг/кг, подвижного фосфора 13 мг/кг и обменного калия 584–596 мг/кг.

Эксперимент проводили по трёхфакторной схеме, включающей 40 вариантов в четырёхкратной повторности. Фактор А – ботанический состав: одновидовые посевы люцерны и костреца, бинарные люцерно-кострецовые и трёхкомпонентные люцерно-кострецово-эспарцетовые смеси. Фактор В – соотношение компонентов: 100:0, 0:100, 60:40, 50:50, 40:60, 50:30:20, 40:40:20 и 30:50:20. Фактор С – стимуляторы роста: контроль, Аминомакс, Блэкджек, Миллерстарт и Лидер-с. Площадь делянки составляла 70 м², размещение вариантов – систематическое.

Урожайность зелёной массы определяли методом сплошного учёта с последующим пересчётом в т/га. У травостоев второго и третьего годов жизни учитывали урожайность отдельных укосов и суммарный сбор за вегетационный период. Выход сухого вещества определяли высушиванием средних растительных проб до постоянной массы.

Кормовую ценность оценивали по содержанию сухого вещества, сырого протеина, жира, клетчатки, золы, сахара, крахмала, кальция, фосфора, каротина и нитратов. Расчётным методом определяли содержание переваримого протеина, обменной энергии и кормовых единиц.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа с оценкой влияния изучаемых факторов и их взаимодействия при уровне значимости $p < 0,05$.

Взаимосвязи между урожайностью зелёной массы, выходом сухого вещества, содержанием сырого протеина, клетчатки и обменной энергии оценивали с использованием коэффициента корреляции Пирсона отдельно за 2024 и 2025 гг. В анализ включали 40 экспериментальных вариантов. Статистическую значимость корреляций оценивали при $p < 0,05$.

Гидротермические условия в годы исследований существенно различались (таблица 1). Вегетационный период 2023 г. характеризовался недостаточной влагообеспеченностью, тогда как в 2024 г. сложились более влажные условия. В 2025 г. обеспеченность влагой была достаточной при более равномерном распределении осадков в течение вегетации. Контрастность погодных условий учитывали при оценке формирования продуктивности многолетних трав и травосмесей.

Таблица 1 – Гидротермические условия вегетационных периодов 2023-2025 гг.

Год	Средняя температура, °С	Осадки, мм	ГТК
2023	16,9	168,8	0,76
2024	15,4	275,4	1,51
2025	16,3	279,6	1,10

Результаты

Урожайность травостоев зависела от компонентного состава, применяемого стимулятора и года жизни растений (таблицы 2 и 3). В первый год жизни урожайность зелёной массы составляла 4,58–5,22 т/га, сухого вещества – 1,22–1,45 т/га. Наибольшая урожайность зелёной массы отмечена в посеве люцерны при применении Аминомакса – 5,22 т/га. Среди травосмесей максимальный выход сухого вещества обеспечило сочетание люцерны 40%, костреца 40% и эспарцета 20% с обработкой Миллерстарт – 1,45 т/га.

Таблица 2 – Урожайность многолетних трав и травосмесей при применении стимуляторов роста, 2023–2025 гг., т/га

№	Культура, соотношение компонентов	Обработка	1-й год, зелёная масса	1-й год, сухое вещество	2-й год, зелёная масса	2-й год, сухое вещество	3-й год, зелёная масса	3-й год, сухое вещество
1	Люцерна	Контроль	4,89	1,31	15,43	4,17	16,03	4,34
		Блэкджек	4,95	1,33	15,74	4,31	16,40	4,52
		Миллерстарт	5,19	1,43	16,11	4,56	17,01	4,85
		Аминомакс	5,22	1,42	16,19	4,32	17,31	4,87
		Лидер-с	5,04	1,37	15,80	4,23	16,73	4,64

Продолжение таблицы 2

2	Кострец	Контроль	4,68	1,30	11,99	3,37	16,43	4,90
		Блэкджек	4,75	1,28	12,15	3,51	16,66	5,02
		Миллерстарт	5,03	1,43	12,86	3,73	17,57	5,47
		Аминомакс	4,82	1,33	12,47	3,51	16,93	5,13
		Лидер-с	4,95	1,38	12,71	3,68	17,41	5,36
3	Люцерна 60% + кострец 40%	Контроль	4,78	1,27	13,68	3,79	16,50	4,60
		Блэкджек	4,88	1,33	13,81	3,89	16,72	4,73
		Миллерстарт	5,16	1,43	14,34	3,93	17,48	5,10
		Аминомакс	5,07	1,39	14,21	3,88	17,53	5,07
		Лидер-с	4,98	1,35	14,07	3,86	17,08	4,88
4	Люцерна 50% + кострец 50%	Контроль	4,62	1,24	13,43	3,62	15,96	4,52
		Блэкджек	4,69	1,26	13,47	3,75	16,23	4,65
		Миллерстарт	5,00	1,38	14,08	3,96	16,96	5,01
		Аминомакс	4,89	1,35	13,91	3,85	16,72	4,88
		Лидер-с	4,83	1,32	13,89	3,83	16,85	4,88
5	Люцерна 40% + кострец 60%	Контроль	4,70	1,28	13,33	3,61	16,76	4,84
		Блэкджек	4,72	1,27	13,55	3,75	16,99	4,95
		Миллерстарт	5,02	1,41	14,03	3,89	17,88	5,39
		Аминомакс	4,90	1,34	13,70	3,75	17,20	5,07
		Лидер-с	4,93	1,38	13,98	3,92	17,70	5,29

На втором году жизни максимальная урожайность зелёной массы получена в посеве люцерны при применении Аминомакса – 16,19 т/га, сухого вещества при обработке Миллерстарт – 4,56 т/га. Среди травосмесей люцерны и костреца наибольшая урожайность зелёной массы отмечена при соотношении 60:40 с Миллерстартом – 14,34 т/га. В смеси люцерны 50%, костреца 30% и эспарцета 20% Аминомакс обеспечил 15,07 т/га зелёной массы, а Миллерстарт – 4,17 т/га сухого вещества.

На третьем году жизни наибольшая урожайность среди травосмесей люцерны и костреца установлена при соотношении 40:60 и применении Миллерстарта: 17,88 т/га зелёной массы и 5,39 т/га сухого вещества. Среди вариантов с эспарцетом высокие показатели отмечены в смеси люцерны 40%, костреца 40% и эспарцета 20% с Миллерстартом – соответственно 17,63 и 5,21 т/га.

Таблица 3 – Урожайность трёхкомпонентных травосмесей люцерны, костреца и эспарцета при применении стимуляторов роста, 2023–2025 гг., т/га

№	Культура, соотношение компонентов	Обработка	1-й год, зелёная масса	1-й год, сухое вещество	2-й год, зелёная масса	2-й год, сухое вещество	3-й год, зелёная масса	3-й год, сухое вещество
1	Люцерна 50% + кострец 30% + эспарцет 20%	Контроль	4,58	1,22	14,22	3,91	15,76	4,36
		Блэкджек	4,64	1,24	14,50	4,07	16,06	4,50
		Миллерстарт	5,07	1,40	15,01	4,17	16,72	4,83
		Аминомакс	4,96	1,37	15,07	4,13	16,96	4,86
		Лидер-с	4,84	1,31	14,72	4,05	16,46	4,66
2	Люцерна 40% + кострец 40% + эспарцет 20%	Контроль	4,74	1,28	13,70	3,62	16,36	4,64
		Блэкджек	4,80	1,29	13,91	3,85	16,63	4,77
		Миллерстарт	5,21	1,45	14,48	4,02	17,63	5,21
		Аминомакс	5,07	1,40	14,34	4,14	17,11	4,98
		Лидер-с	4,94	1,36	14,32	3,95	17,35	5,10
3	Люцерна 30% + кострец 50% + эспарцет 20%	Контроль	4,62	1,26	13,22	3,69	16,20	4,69
		Блэкджек	4,67	1,28	13,39	3,71	16,50	4,82
		Миллерстарт	5,08	1,43	14,00	3,84	17,42	5,24
		Аминомакс	4,92	1,37	13,65	3,87	16,79	4,97
		Лидер-с	4,96	1,38	13,76	3,91	17,25	5,15
	$НСР_{05}$ зелёной массы, т/га		0,12		0,12		0,18	
	$НСР_{05}$ сухого вещества, т/га			0,05		0,08		0,15

Кормовую ценность определяли на втором и третьем годах жизни (таблицы 4-6). На втором году среди травосмесей максимальное содержание сырого протеина отмечено в смеси люцерны 50%,

костреца 30% и эспарцета 20% при применении Миллерстарта – 12,97%, переваримого протеина – 7,78%, обменной энергии – 9,14 МДж/кг.

Таблица 4 – Кормовая ценность многолетних трав и травосмесей при применении стимуляторов роста, 2024–2025 гг.

№ п/п	Культура, соотношение компонентов	Обработка	Год жизни	Сырой протеин, %	Клетчатка, %	Переваримый протеин, %	ОЭ, МДж/кг	Кормовые единицы
1	Люцерна	Контроль	2-й	12,48	29,50	7,49	8,89	0,85
			3-й	12,80	29,84	7,68	8,93	0,85
		Блэкджэк	2-й	12,81	29,16	7,69	9,01	0,86
			3-й	13,04	27,79	7,82	9,12	0,87
		Миллер-старт	2-й	13,48	28,98	8,09	9,11	0,87
			3-й	13,68	28,92	8,21	9,07	0,86
		Амино-макс	2-й	13,25	29,12	7,95	9,03	0,86
			3-й	13,35	27,43	8,01	9,19	0,87
		Лидер-с	2-й	13,10	29,05	7,86	9,07	0,86
			3-й	13,13	27,94	7,88	9,11	0,87
2	Кострец	Контроль	2-й	10,72	33,20	6,43	8,86	0,84
			3-й	10,90	37,71	6,54	8,27	0,79
		Блэкджэк	2-й	10,90	32,75	6,54	8,98	0,86
			3-й	11,19	34,92	6,71	8,51	0,81
		Миллер-старт	2-й	11,50	31,90	6,90	9,02	0,86
			3-й	11,51	36,96	6,91	8,36	0,80
		Амино-макс	2-й	11,10	32,45	6,66	9,00	0,86
			3-й	11,41	35,74	6,85	8,45	0,80
		Лидер-с	2-й	11,37	32,10	6,82	9,04	0,86
			3-й	11,20	36,83	6,72	8,35	0,80

Примечание: верхнее значение – 2-й год жизни (2024 г.); нижнее – 3-й год жизни (2025 г.).

На третьем году в смеси люцерны 60% и костреца 40% с Миллерстартом содержание сырого протеина достигало 13,21%, переваримого протеина – 7,93%. В травосмеси люцерны 50%, костреца 30% и эспарцета 20% соответствующие показатели составляли 13,09 и 7,85%, обменная энергия – 9,07 МДж/кг. В целом наиболее высокие показатели продуктивности и кормовой ценности травосмесей чаще формировались при применении Миллерстарта.

Таблица 5 – Кормовая ценность травосмесей люцерны и костреца при применении стимуляторов роста, 2024–2025 гг.

№ п/п	Культура, соотношение компонентов	Обработка	Год жизни	Сырой протеин, %	Клетчатка, %	Переваримый протеин, %	ОЭ, МДж/кг	Кормовые единицы
1	Люцерна 60% + кострец 40%	Контроль	2-й	12,05	30,45	7,23	8,90	0,85
			3-й	12,34	33,18	7,40	8,68	0,83
		Блэкджэк	2-й	12,36	30,08	7,42	8,96	0,85
			3-й	12,53	29,14	7,52	9,01	0,86
		Миллер-старт	2-й	12,75	29,62	7,65	9,06	0,86
			3-й	13,21	32,37	7,93	8,82	0,84
		Амино-макс	2-й	12,69	29,85	7,61	9,04	0,86
			3-й	12,97	28,86	7,78	9,08	0,86
		Лидер-с	2-й	12,48	29,91	7,49	9,02	0,86
			3-й	12,64	31,21	7,58	8,87	0,84
2	Люцерна 50% + кострец 50%	Контроль	2-й	11,75	31,05	7,05	8,78	0,84
			3-й	12,29	34,28	7,37	8,59	0,82
		Блэкджэк	2-й	12,09	30,61	7,25	8,90	0,85
			3-й	12,58	31,63	7,55	8,85	0,84
		Миллер-старт	2-й	12,49	30,14	7,49	9,00	0,86
			3-й	12,86	33,02	7,72	8,75	0,83
		Амино-макс	2-й	12,40	30,48	7,44	8,92	0,85
			3-й	12,83	30,04	7,70	8,97	0,85
		Лидер-с	2-й	12,39	30,32	7,43	8,96	0,85
			3-й	12,68	33,57	7,61	8,69	0,83

Продолжение таблицы 5

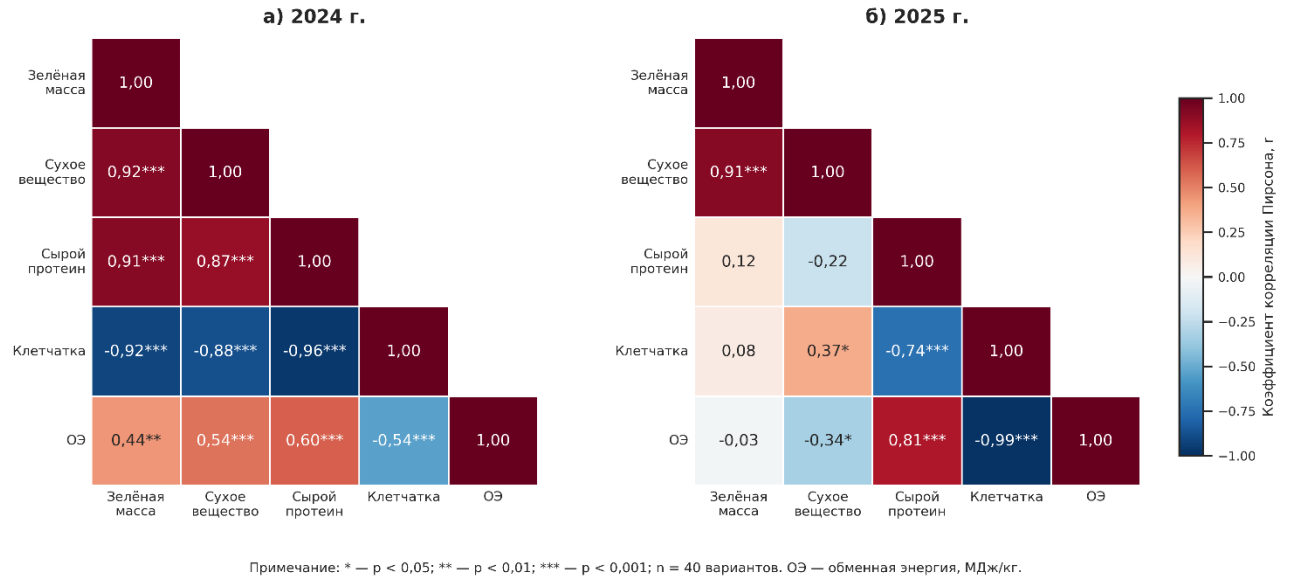
3	Люцерна 40% + кострец 60%	Контроль	2-й 3-й	11,54 11,96	31,72 35,12	6,92 7,18	8,75 8,49	0,83 0,81
		Блэкджэк	2-й 3-й	11,71 12,29	31,25 32,59	7,03 7,37	8,87 8,72	0,84 0,83
		Миллер-старт	2-й 3-й	12,30 12,81	30,70 32,08	7,38 7,69	8,91 8,80	0,85 0,84
		Амино-макс	2-й 3-й	11,91 12,33	31,09 30,67	7,15 7,40	8,89 8,87	0,85 0,85
		Лидер-с	2-й 3-й	12,16 12,32	30,91 33,61	7,30 7,39	8,93 8,64	0,85 0,82

Таблица 6 – Кормовая ценность травосмесей люцерны, костреца и эспарцета при применении стимуляторов роста, 2024–2025 гг.

№ п/п	Культура, соотношение компонентов	Обработка	Год жизни	Сырой протеин, %	Клетчатка, %	Переваримый протеин, %	ОЭ, МДж/кг	Кормовые единицы
1	Люцерна 50% + кострец 30% + эспарцет 20%	Контроль	2-й 3-й	12,20 12,26	30,05 29,89	7,32 7,36	8,98 8,92	0,86 0,85
		Блэкджэк	2-й 3-й	12,39 12,51	29,62 31,22	7,43 7,51	9,04 8,85	0,86 0,84
		Миллер-старт	2-й 3-й	12,97 13,09	29,18 28,97	7,78 7,85	9,14 9,07	0,87 0,86
		Амино-макс	2-й 3-й	12,88 12,73	29,43 30,26	7,73 7,64	9,12 8,93	0,87 0,85
		Лидер-с	2-й 3-й	12,68 12,60	29,51 28,11	7,61 7,56	9,10 9,09	0,87 0,87
2	Люцерна 40% + кострец 40% + эспарцет 20%	Контроль	2-й 3-й	11,86 11,72	30,66 33,18	7,12 7,03	8,86 8,63	0,84 0,82
		Блэкджэк	2-й 3-й	12,18 11,95	30,21 30,07	7,31 7,17	8,98 8,91	0,86 0,85
		Миллер-старт	2-й 3-й	12,59 12,66	29,73 30,96	7,55 7,60	9,08 8,88	0,86 0,85
		Амино-макс	2-й 3-й	12,48 12,16	30,02 28,63	7,49 7,30	9,00 9,03	0,86 0,86
		Лидер-с	2-й 3-й	12,31 12,16	29,96 31,29	7,39 7,30	9,04 8,81	0,86 0,84
3	Люцерна 30% + кострец 50% + эспарцет 20%	Контроль	2-й 3-й	11,51 11,81	31,25 33,12	6,91 7,09	8,81 8,63	0,84 0,82
		Блэкджэк	2-й 3-й	11,82 12,02	30,86 30,19	7,09 7,21	8,93 8,90	0,85 0,85
		Миллер-старт	2-й 3-й	12,35 12,39	30,30 31,02	7,41 7,43	8,97 8,87	0,85 0,84
		Амино-макс	2-й 3-й	12,10 12,46	30,61 29,11	7,26 7,48	8,95 9,01	0,85 0,86
		Лидер-с	2-й 3-й	12,09 12,07	30,55 31,48	7,25 7,24	8,99 8,80	0,86 0,84

Примечание: верхнее значение – 2-й год жизни (2024 г.); нижнее – 3-й год жизни (2025 г.)

Корреляционный анализ выявил различия во взаимосвязях продуктивности и кормовой ценности по годам исследований (рисунок 1). В 2024 г. урожайность зелёной массы положительно коррелировала с выходом сухого вещества ($r = 0,92$) и содержанием сырого протеина ($r = 0,91$), а с содержанием клетчатки связь была отрицательной ($r = −0,92$; $p < 0,001$). Выход сухого вещества также положительно коррелировал с сырым протеином ($r = 0,87$) и отрицательно – с клетчаткой ($r = −0,88$; $p < 0,001$). В 2025 г. тесная связь сохранялась между урожайностью зелёной массы и выходом сухого вещества ($r = 0,91$; $p < 0,001$), тогда как их корреляции с содержанием сырого протеина были слабыми. Содержание протеина отрицательно коррелировало с клетчаткой ($r = −0,74$) и положительно – с обменной энергией ($r = 0,81$; $p < 0,001$).



Примечание: * — p < 0,05; ** — p < 0,01; *** — p < 0,001; n = 40 вариантов. ОЭ — обменная энергия, МДж/кг.

Рисунок 1 – Корреляционные связи между урожайностью и показателями кормовой ценности многолетних трав и травосмесей, 2024-2025 гг.

Обсуждение. В многолетних опытах установлено преимущество травосмесей над одновидовыми посевами, а также зависимость их продуктивности от доли бобового компонента [11, с. 365–366; 12, с. 2424–2425]. В нашем исследовании наибольшая урожайность получена в смеси люцерны 40% и костреца 60% при применении Миллерстарта. Такое соотношение люцерны и злакового компонента также рекомендовано по результатам оценки урожайности и качества корма [13, с. 1020].

Более высокое содержание протеина и меньшая клетчатка в вариантах с люцерной соответствуют данным сравнительного изучения люцерны, костреца и их смесей [14, с. 305-306]. Положительное действие стимуляторов на урожайность зелёной и сухой массы люцерны подтверждено в работе [15, с. 7]. Корреляционный анализ показал, что в 2024 г. повышение урожайности сопровождалось увеличением протеина и снижением клетчатки, тогда как в 2025 г. эти связи ослабли.

Заключение. Компонентный состав и применение стимуляторов роста влияли на урожайность и кормовую ценность многолетних травостоев. Максимальная урожайность среди травосмесей получена при сочетании люцерны 40% и костреца 60% с Миллерстартом – 17,88 т/га зелёной массы и 5,39 т/га сухого вещества.

Наиболее сбалансированные показатели кормовой ценности отмечены в смеси люцерны 50%, костреца 30% и эспарцета 20%. При применении Миллерстарта содержание сырого протеина составляло 12,97% в 2024 г. и 13,09% в 2025 г. В целом Миллерстарт обеспечивал наиболее устойчивое повышение урожайности и содержания протеина. Полученные результаты позволяют рекомендовать совместный подбор соотношения компонентов и стимулятора роста с учётом требуемого уровня продуктивности и кормовой ценности.

Информация о финансировании. Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR28712213).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **Ghani M.U., Kamran M., Ahmad I., Arshad A., Zhang C., Zhu W., Lou S., Hou F. Alfalfa-grass mixtures reduce greenhouse gas emissions and net global warming potential while maintaining yield advantages over monocultures** [Text] / M.U. Ghani, M. Kamran, I. Ahmad [et al.] // Science of the Total Environment. – 2022. – Vol. 849. – Art. 157765. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157765.

2. **Liu M., Gong J.R., Pan Y., Luo Q.P., Zhai Z.W., Xu S., Yang L.L. Effects of grass–legume mixtures on the production and photosynthetic capacity of constructed grasslands in Inner Mongolia, China** [Text] / M. Liu, J.R. Gong, Y. Pan [et al.] // Crop & Pasture Science. – 2016. – Vol. 67. – No. 11. – P. 1188–1198. – DOI: 10.1071/CP16063.

3. **Aponte A., Samarappuli D., Berti M.T. Alfalfa–Grass Mixtures in Comparison to Grass and Alfalfa Monocultures** [Text] / A. Aponte, D. Samarappuli, M.T. Berti // Agronomy Journal. – 2019. – Vol. 111. – No. 2. – P. 628–638. – DOI: 10.2134/agronj2017.12.0753.

4. **Tahir M., Li C., Zeng T., Xin Y., Chen C., Javed H.H., Yang W., Yan Y. Mixture Composition Influenced the Biomass Yield and Nutritional Quality of Legume–Grass Pastures** [Text] / M. Tahir, C. Li, T. Zeng [et al.] // Agronomy. – 2022. – Vol. 12. – No. 6. – Art. 1449. – DOI: 10.3390/agronomy12061449.

5. **Umesh M.R., Angadi S., Begna S., Gowda P.H., Lauriault L.M., Hagevoort G.R., Darapuneni M.K. Intercropping and species interactions on physiological and light use characteristics of forage cereals-legumes combinations in semi-arid regions** [Text] / M.R. Umesh, S. Angadi, S. Begna [et al.] // Field Crops Research. – 2023. – Vol. 290. – Art. 108755. – DOI: 10.1016/j.fcr.2022.108755.

6. **Helgadóttir Á., Suter M., Gylfadóttir T.Ó., Kristjánsdóttir T.A., Lüscher A. Grass–legume mixtures sustain strong yield advantage over monocultures under cool maritime growing conditions over a period of 5 years** [Text] / Á. Helgadóttir, M. Suter, T.Ó. Gylfadóttir, T.A. Kristjánsdóttir, A. Lüscher // Annals of Botany. – 2018. – Vol. 122. – No. 2. – P. 337–348. – DOI: 10.1093/aob/mcy074.

7. **Карлова И.В. Урожайность травосмесей многолетних трав на основе костреца безостого и черноголовника многобрачного при применении стимуляторов роста** [Текст] / И.В. Карлова, В.Г. Васин, А.А. Кожаева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 24–30. – DOI: 10.18286/1816-4501-2019-1-24-30.

8. **Pavlenko M., Kovalenko V. Analysis of the productivity of sown legume-grass stands depending on alfalfa content, biostimulant application and weather conditions** [Text] / M. Pavlenko, V. Kovalenko // Plant and Soil Science. – 2025. – Vol. 16. – No. 2. – P. 48–57. – DOI: 10.31548/plant2.2025.48.

9. **Capstaff N.M., Morrison F., Cheema J., Brett P., Hill L., Muñoz-García J.C., et al. Fulvic acid increases forage legume growth inducing preferential up-regulation of nodulation and signalling-related genes** [Text] / N.M. Capstaff, F. Morrison, J. Cheema [et al.] // Journal of Experimental Botany. – 2020. – Vol. 71. – No. 18. – P. 5689–5704. – DOI: 10.1093/jxb/eraa283.

10. **Radkowski A., Radkowska I., Wolski K., Kuc P., Bujak H. Effect of a Mineral-Organic Concentrate on a Yield Increase and Seed Quality of Perennial Ryegrass (Lolium perenne L.)** [Text] / A. Radkowski, I. Radkowska, K. Wolski, P. Kuc, H. Bujak // Agriculture. – 2024. – Vol. 14. – No. 2. – Art. 200. – DOI: 10.3390/agriculture14020200.

11. **Finn J.A., Kirwan L., Connolly J., et al. Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment** [Text] / J.A. Finn, L. Kirwan, J. Connolly [et al.] // Journal of Applied Ecology. – 2013. – Vol. 50. – No. 2. – P. 365–375. – DOI: 10.1111/1365-2664.12041.

12. **Suter M., Connolly J., Finn J.A., Loges R., Kirwan L., Sebastià M.T., Lüscher A. Nitrogen yield advantage from grass–legume mixtures is robust over a wide range of legume proportions and environmental conditions** [Text] / M. Suter, J. Connolly, J.A. Finn [et al.] // Global Change Biology. – 2015. – Vol. 21. – No. 6. – P. 2424–2438. – DOI: 10.1111/gcb.12880.

13. **Yüksel O., Balabanlı C. Yield and Some Quality Properties of Binary Alfalfa-Grass Mixtures in Different Mixture Ratios** [Text] / O. Yüksel, C. Balabanlı // Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology. – 2021. – Vol. 9. – No. 6. – P. 1020–1029. – DOI: 10.24925/turjaf.v9i6.1020-1029.4035.

14. **McDonald I., Baral R., Min D. Effects of alfalfa and alfalfa-grass mixtures with nitrogen fertilization on dry matter yield and forage nutritive value** [Text] / I. McDonald, R. Baral, D. Min // Journal of Animal Science and Technology. – 2021. – Vol. 63. – No. 2. – P. 305–318. – DOI: 10.5187/jast.2021.e33.

15. **Marinova D., Stoyanova S., Petrova I. Effect of biostimulants foliar application on forage yield in alfalfa (Medicago sativa L.)** [Text] / D. Marinova, S. Stoyanova, I. Petrova // Turkish Journal of Field Crops. – 2023. – Vol. 28. – No. 1. – P. 7–14. – DOI: 10.17557/tjfc.1192602.

REFERENCES:

1. **Ghani M.U., Kamran M., Ahmad I., et al. Alfalfa-grass mixtures reduce greenhouse gas emissions and net global warming potential while maintaining yield advantages over monocultures.** *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 849, art. 157765. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157765.

2. **Liu M., Gong J.R., Pan Y., et al. Effects of grass–legume mixtures on the production and photosynthetic capacity of constructed grasslands in Inner Mongolia, China.** *Crop & Pasture Science*, 2016, vol. 67, no. 11, pp. 1188–1198. DOI: 10.1071/CP16063.

3. **Aponte A., Samarappuli D., Berti M.T. Alfalfa–Grass Mixtures in Comparison to Grass and Alfalfa Monocultures.** *Agronomy Journal*, 2019, vol. 111, no. 2, pp. 628–638. DOI: 10.2134/agronj2017.12.0753.

4. **Tahir M., Li C., Zeng T., et al. Mixture Composition Influenced the Biomass Yield and Nutritional Quality of Legume–Grass Pastures.** *Agronomy*, 2022, vol. 12, no. 6, art. 1449. DOI: 10.3390/agronomy12061449.

5. **Umesh M.R., Angadi S., Begna S., et al. Intercropping and species interactions on physiological and light use characteristics of forage cereals-legumes combinations in semi-arid regions.** *Field Crops Research*, 2023, vol. 290, art. 108755. DOI: 10.1016/j.fcr.2022.108755.

6. **Helgadóttir Á., Suter M., Gylfadóttir T.Ó., Kristjánsdóttir T.A., Lüscher A. Grass–legume mixtures sustain strong yield advantage over monocultures under cool maritime growing conditions over a period of 5 years.** *Annals of Botany*, 2018, vol. 122, no. 2, pp. 337–348. DOI: 10.1093/aob/mcy074.

7. **Karlova I.V., Vasin V.G., Kozhaeva A.A. Produktivnost' travosmesej mnogoletnih trav na osnove kostreca bezostogo i chernogolovnika mnogobrachnogo pri primenenii stimulyatorov rosta**

[Productivity of perennial grass mixtures based on smooth brome and salad burnet under the application of growth stimulants]. *Vestnik Ul'yanovskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2019, no. 1, pp. 24–30. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-1-24-30. (In Russian)

8. **Pavlenko M., Kovalenko V. Analysis of the productivity of sown legume-grass stands depending on alfalfa content, biostimulant application and weather conditions.** *Plant and Soil Science*, 2025, vol. 16, no. 2, pp. 48–57. DOI: 10.31548/plant2.2025.48.

9. **Capstaff N.M., Morrison F., Cheema J., Brett P., Hill L., Muñoz-García J.C., et al. Fulvic acid increases forage legume growth inducing preferential up-regulation of nodulation and signalling-related genes.** *Journal of Experimental Botany*, 2020, vol. 71, no. 18, pp. 5689–5704. DOI: 10.1093/jxb/eraa283.

10. **Radkowski A., Radkowska I., Wolski K., Kuc P., Bujak H. Effect of a Mineral-Organic Concentrate on a Yield Increase and Seed Quality of Perennial Ryegrass (Lolium perenne L.).** *Agriculture*, 2024, vol. 14, no. 2, art. 200. DOI: 10.3390/agriculture14020200.

11. **Finn J.A., Kirwan L., Connolly J., et al. Ecosystem function enhanced by combining four functional types of plant species in intensively managed grassland mixtures: a 3-year continental-scale field experiment.** *Journal of Applied Ecology*, 2013, vol. 50, no. 2, pp. 365–375. DOI: 10.1111/1365-2664.12041.

12. **Suter M., Connolly J., Finn J.A., et al. Nitrogen yield advantage from grass–legume mixtures is robust over a wide range of legume proportions and environmental conditions.** *Global Change Biology*, 2015, vol. 21, no. 6, pp. 2424–2438. DOI: 10.1111/gcb.12880.

13. **Yüksel O., Balabanlı C. Yield and Some Quality Properties of Binary Alfalfa-Grass Mixtures in Different Mixture Ratios.** *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology*, 2021, vol. 9, no. 6, pp. 1020–1029. DOI: 10.24925/turjaf.v9i6.1020-1029.4035.

14. **McDonald I., Baral R., Min D. Effects of alfalfa and alfalfa-grass mixtures with nitrogen fertilization on dry matter yield and forage nutritive value.** *Journal of Animal Science and Technology*, 2021, vol. 63, no. 2, pp. 305–318. DOI: 10.5187/jast.2021.e33.

15. **Marinova D., Stoyanova S., Petrova I. Effect of biostimulants foliar application on forage yield in alfalfa (Medicago sativa L.).** *Turkish Journal of Field Crops*, 2023, vol. 28, no. 1, pp. 7–14. DOI: 10.17557/tjfc.1192602.

Дата поступления: 28 мая 2026 г. **Принято:** 23 июня 2026 г. **Опубликовано:** 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Саликова Жанат Ханатовна – магистр сельскохозяйственных наук, ассистент лектора кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87085839059, e-mail: zhannat.salikova@mail.ru.*

Байдалина Салтанат Есетовна – PhD, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87009846392, e-mail: turlubekova_salt@mail.ru.

Богапов Ильдар Маратович – PhD, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87051025547, e-mail: ildar.maratovich@bk.ru.

Байдалин Марден Ерсаинович – PhD, ассоциированный профессор (доцент), руководитель департамента науки и подготовки научных кадров, НАО «Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76, тел.: 87475546495, e-mail: marden_0887@mail.ru.

Саликова Жанат Ханатовна – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, ауыл шаруашылығы және биоресурстар кафедрасының лектор ассистенті, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш., 76, тел.: 87085839059, e-mail: zhannat.salikova@mail.ru.*

Байдалина Салтанат Есетовна – PhD, ауыл шаруашылығы және биоресурстар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш., 76, тел.: 87009846392, e-mail: turlubekova_salt@mail.ru.

Богапов Ильдар Маратович – PhD, ауыл шаруашылығы және биоресурстар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш., 76, тел.: 87051025547, e-mail: ildar.maratovich@bk.ru.

Байдалин Марден Ерсаинович – PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), Ғылым және ғылыми кадрларды даярлау департаментінің басшысы, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 020000, Көкшетау қ., Абай көш., 76, тел.: 87475546495, e-mail: marden_0887@mail.ru.

*Salikova Zhanat Khanatovna * – Master of Agricultural Sciences, Assistant Lecturer, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NJSC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87085839059, e-mail: zhannat.salikova@mail.ru.*

Baidalina Saltanat Yessetovna – PhD, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NJSC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87009846392, e-mail: turlubekova_salt@mail.ru.

Bogapov Ildar Maratovich – PhD, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NJSC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87051025547, e-mail: ildar.maratovich@bk.ru.

Baidalin Marden Yersainovich – PhD, Associate Professor, Head of the Department of science and research personnel training, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NJSC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87475546495, e-mail: marden_0887@mail.ru.

ХҒТАР 68.39.29
ӘОЖ 636.237:636.22/.28.033:636.082.13
https://doi.org/10.52269/SEPT2631253

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА СИММЕНТАЛЬ ТҰҚЫМЫНЫҢ ӘРТҮРЛІ ӨНДІРІСТІК ТИПТЕГІ БҰҚАШЫҚТАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІНІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКОНОМИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ

Шегенов С.Т. – ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уалиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Алпысов А.Р. – ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының сеньор-лекторы, «Ш. Уалиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.

Бекимова Г.Б. – PhD доктор, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уалиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы.*

Есжанова Э.Б. – ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, "Қазақ мал шаруашылығы және жем-шөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты" ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Солтүстік Қазақстан жағдайында симменталь тұқымының әртүрлі өндірістік типтеріне жататын бұқашықтарды өсірудің өсу, даму ерекшеліктері мен экономикалық тиімділігін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Тәжірибе ауыл шаруашылығы кәсіпорны базасында азықтандыру және күтіп-бағудың бірдей жағдайларында өткізілді. Зерттеу үшін әрқайсысы 12 бастан тұратын сүтті-етті, сүтті және етті-сүтті өндірістік типтердегі жануарлардың үш тобы құрылды. Бұқашықтардың тірі салмағы, орташа тәуліктік салмақ қосуы, өсу қарқындылығы және оларды өсірудің негізгі экономикалық көрсеткіштері салыстырмалы түрде бағаланды.

Зерттеу нәтижесінде өндірістік типтің жануарлардың өнімділік көрсеткіштеріне статистикалық тұрғыдан шынайы әсер ететіні анықталды ($P<0,05–0,001$). Ең жоғары көрсеткіштер етті-сүтті типтегі бұқашықтарда байқалды: олардың 18 айлықтағы тірі салмағы 513,5 кг, ал орташа тәуліктік салмақ қосуы 915 г құрады. Дисперсиялық талдау өндірістік типтің тірі салмақ өзгергіштігіне әсер ету үлесінің айтарлықтай екенін көрсетті (η^2 0,508-ге дейін). Регрессиялық талдау тірі салмақтың жасқа тәуелділігінің жоғары дәрежесін анықтады (R^2=0,997–0,999). Экономикалық бағалау бойынша етті-сүтті тип ең жоғары пайдамен (252 600 теңге), рентабельділікпен (69,5%) және өнімнің ең төмен өзіндік құнымен (754 теңге/кг) сипатталды. Алынған нәтижелер сиыр етін өндіруде етті-сүтті типтегі бұқашықтарды пайдаланудың тиімділігін дәлелдейді.

Түйінді сөздер: *симменталь тұқымы, бұқашықтар, ет өнімділігі, өсу, азықтандыру.*

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОДУКТИВНОСТИ БЫЧКОВ СИММЕНТАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ТИПОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Шегенов С.Т. – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Алпысов А.Р. – сеньор-лектор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.

Бекимова Г.Б. – PhD доктор, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», г. Кокшетау, Республика Казахстан.*

Есжанова Э.Б. – кандидат сельскохозяйственных наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», г. Алматы, Республика Казахстан.

В статье представлены результаты исследования роста, развития и экономической эффективности выращивания бычков симментальской породы разных производственных типов в условиях Северного Казахстана. Эксперимент проводили на базе сельскохозяйственного предприятия. Были сформированы три группы животных по 12 голов в каждой, содержавшихся в одинаковых условиях кормления и содержания. В ходе исследования проводили регулярное взвешивание молодняка, рассчитывали абсолютный и среднесуточный приросты, анализировали возрастную динамику живой массы и определяли основные показатели экономической эффективности выращивания всех изучаемых производственных типов.

Установлено статистически значимое влияние производственного типа на показатели продуктивности животных (P<0,05–0,001). Наиболее высокие результаты получены у бычков мясомолочного типа: живая масса в возрасте 18 месяцев составила 513,5 кг, среднесуточный прирост живой массы – 915 г. Дисперсионный анализ показал, что доля влияния данного фактора на вариацию живой массы была значительной (η^2 – до 0,508).

Регрессионный анализ выявил высокую степень зависимости живой массы от возраста животных (R^2=0,997–0,999). Экономическая оценка показала, что выращивание бычков мясомолочного типа характеризовалось наибольшей прибылью (252 600 тенге) и рентабельностью (69,5%), а также самой низкой себестоимостью продукции (754 тенге/кг).

Полученные результаты подтверждают высокую эффективность использования бычков мясомолочного типа для производства говядины.

Ключевые слова: *симментальская порода, бычки, мясная продуктивность, рост, кормление.*

ASSESSMENT OF BIOLOGICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE INDICATORS OF SIMMENTAL BULLS OF DIFFERENT PRODUCTION TYPES UNDER THE CONDITIONS OF NORTHERN KAZAKHSTAN

Shegenov S.T. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Alpyssov A.R. – Senior Lecturer, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.

Bekimova G.B. – PhD, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan.*

Yeszhanova E.B. – Candidate of Agricultural Sciences, Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan.

The article presents the results of a study on the growth, development, and economic efficiency of raising Simmental bulls of different production types under the conditions of Northern Kazakhstan. The experiment was conducted at an agricultural enterprise. Three groups of animals, with 12 bulls in each group, were formed and kept under identical feeding and housing conditions.

Production type was found to have a statistically significant effect on animal productivity indicators (P<0.05–0.001). The highest results were obtained in meat-and-dairy-type bulls: their live weight at 18 months of age reached 513.5 kg, and their average daily weight gain was 915 g. Analysis of variance showed that this factor accounted for a substantial proportion of the variation in live weight (η^2 up to 0.508).

Regression analysis revealed a strong relationship between live weight and animal age (R^2=0.997–0.999). The economic assessment showed that raising meat-and-dairy-type bulls generated the highest profit (KZT 252,600) and profitability level (69.5%), as well as the lowest production cost (KZT 754/kg).

The results confirm the high efficiency of using meat-and-dairy-type bulls for beef production.

Keywords: *Simmental breed; bulls, beef productivity, growth, feeding.*

Кіріспе. Мал шаруашылығы Қазақстан Республикасының аграрлық секторының негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Сиыр етін өндіру тиімділігін арттыру тұқымдардың генетикалық әлеуетін ұтымды пайдаланумен және жануарлардың неғұрлым өнімді типтерін таңдаумен тікелей байланысты. Ірі қара малдың симменталь тұқымы өзінің әмбебаптылығы мен жоғары бейімделгіштігінің арқасында кеңінен таралған. Алайда тұқым ішінде өнімділік бағыты бойынша ерекшеленетін әртүрлі өндірістік типтер бөлінеді.

Зерттеудің мақсаты әртүрлі өндірістік типтегі симменталь тұқымды бұқашықтардың өсуін, дамуын және өнімділік қасиеттерін зерттеу болды.

Зерттеу міндеттері:

1. Әртүрлі өндірістік типтегі симменталь тұқымды бұқашықтардың өсу динамикасын тірі салмағы мен орташа тәуліктік салмақ қосуы бойынша зерттеу.

2. Бұқашықтардың дене бітімінің сызықтық өлшемдері мен индекстерін анықтап, олардың жасына және өндірістік типіне байланысты қалыптасу ерекшеліктерін салыстырмалы бағалау.

3. Сүтті, сүтті-етті және етті-сүтті типтегі бұқашықтардың өнімділік көрсеткіштерін салыстыру және өсіруге неғұрлым тиімді өндірістік типті анықтау.

Зерттеу материалы мен әдістемелері. Зерттеулер Солтүстік Қазақстан облысы Айыртау ауданында орналасқан «Жақан» ЖК-да жүргізілді. Әрқайсысында 12 бастан тұратын үш топ қалыптастырылды. Бірінші топқа сүтті типтегі, екінші топқа – сүтті-етті, үшінші топқа – етті-сүтті типтегі бұқашықтар енгізілді.

Жануарлар бұқашықтардың өнімділік қасиеттерінің толық көрінуіне ықпал ететін бірдей азықтандыру және күтіп-бағу жағдайларында өсірілді.

Тәжірибе барысында:

- ай сайын өлшеу жүргізілді,
- дене бітімінің сызықтық өлшемдері өлшенді,
- дене бітімі индекстері есептелді,
- орташа тәуліктік салмақ қосу талданды.

Азықтандыру БҒЗИ [1, 28б.] нормалары бойынша тәуліктік салмақ қосуы кемінде 800 г қамтамасыз етіле отырып жүргізілді. Алынған мәліметтер Е.К. Меркурьеваның әдістемесі бойынша биометриялық өңдеуден өткізілді [2, 16б.].

Зерттеу нәтижелері. Тәжірибедегі бұқашықтарды азықтандыруды ұйымдастыру кезінде ауыл шаруашылығы кәсіпорнында дайындалатын азықтар пайдаланылды. Тұтынылған азық мөлшері 1-кестеде келтірілген (1-ші кесте).

1 кесте – Тәжірибе кезеңіндегі азық шығыны, кг/бас

Азық	Өндірістік типтер		
	Сүтті	Сүтті-етті	Етті-сүтті
Қаймағы алынбаған сүт	220	220	220
Майы алынған сүт	610	610	610
Құнарландырылған азық	980	983	990
Пішен	477	480	490
Сүрлем	3422	3488	3485
Сабан	165	165	165
Азық өлшемдерінің мөлшері, ц	30,1	30,2	30,3
1 азық өлшеміндегі қорытылатын протеин, г	106,4	106,7	106,9

1-кесте мәліметтерінен барлық үш топтағы бұқашықтардың шамамен бірдей мөлшерде азық тұтынғанын көреміз. Сонымен қатар белгілі бір айырмашылықтар байқалды. Етті-сүтті типтегі жануарлар бүкіл кезең ішінде 30,3 ц азық өлшемін, сүтті типтегілер – 30,1 ц, ал сүтті-етті типтегілер – 30,2 ц тұтынды.

Нормаларға сәйкес бұқашықтар қорытылатын протеиннің жеткілікті мөлшерін тұтынды. Орта есеппен бір азық өлшеміне 106,4–106,9 г қорытылатын протеин келді.

Көптеген зерттеушілер арасында өсу процесіне қатысты әртүрлі көзқарастар бар [1, 30б., 3, 185б].

Сонымен қатар олардың көпшілігі өсу – бұл тірі салмақтың артуы деп есептейді [4, 256б, 5, 40б.]. Біз тәжірибедегі бұқашықтардың әртүрлі жас кезеңдеріндегі тірі салмағының өзгеруін зерттедік. Алынған көрсеткіштер 2-кестеде берілген (2-ші кесте).

2 кесте – Бұқашықтардың тірі салмағының динамикасы, кг

Жасы, ай	Өндірістік типтер		
	Сүтті	Сүтті-етті	Етті-сүтті
Жаңа туған	30,0±2,0	31,2±2,1	31,5±1,9
3	101,4±3,5	103,1±3,0	110,2±2,7
6	162,2±4,1	164,7±4,2	186,7±3,8*
9	230,1±6,3	232,8±5,9	267,6±5,2
12	303,8±5,9	307,6±6,1	348,7±6,1**
15	381,6±7,4	388,5±7,3	430,8±7,4
18	459,8±7,2	472,0±6,8	513,5±8,6**

*P>0,99; **P>0,999.

2-кесте мәліметтерін талдай отырып, туған кезде бұқашықтардың тірі салмағы іс жүзінде бірдей болғанын көреміз (30,0–31,5 кг). Тәжірибе жүргізу барысында әртүрлі топтағы бұқашықтардың тірі салмақ динамикасы айтарлықтай өзгерді, әсіресе сүтті және етті-сүтті өндірістік типтегі жануарлар топтары арасында. Мысалы, 6 айлық жаста бұл айырмашылық 24,5 кг (13,2%), 12 айлықта – 44,9 кг (12,9%), 18 айлықта – 53,7 кг (10,5%) құрады. Сонымен қатар 6 айлық жаста айырмашылық P>0,99 кезінде сенімді болды, ал 18 айлық жаста аталған бұқашықтар топтарының тірі салмағындағы айырмашылық P>0,999 кезінде өте жоғары сенімді болды.

Сүтті-етті өндірістік типтегі бұқашықтар бұл көрсеткіш бойынша аралық орын алды. Жалпы алғанда, тәжірибедегі жануарлар тәжірибе соңында (18 ай) жоғары тірі салмаққа жетті (459,8–513,5 кг).

Көптеген ғалымдардың зерттеулері жануар дене массасының абсолюттік өсуі ересек жануар массасының шамамен 1/3 бөлігіне жеткенге дейін артатынын, содан кейін біртіндеп төмендейтінін анықтаған. Сонымен қатар дене массасының, сызықтық өлшемдердің және жануар денесі көлемінің ұлғаю процестерінің қарқындылығы белгілі бір кезеңдегі абсолюттік көрсеткіштер мен салыстырмалы өсу жылдамдығы бойынша бағаланады. Килограммен көрсетілген абсолюттік өсу көрсеткіштері практикалық тұрғыдан маңызды болып табылады. 3-кестеде біз алған көрсеткіштер ұсынылған (3-ші кесте).

3 кесте – Бұқашықтардың салыстырмалы өсу жылдамдығының көрсеткіштері, %

Жас кезеңдері, ай	Өндірістік типтер		
	Сүтті	Сүтті-етті	Етті-сүтті
0-3	108,6	107,0	111,2
3-6	46,1	46,0	51,5
6-9	34,6	34,2	35,6
9-12	27,6	27,6	26,4
12-15	22,7	23,2	21,1
15-18	18,5	19,4	17,5

3-кестеден әрбір келесі жас кезеңінде алдыңғы кезеңмен салыстырғанда салыстырмалы өсу жылдамдығының төмендейтіні көрінеді. Ең жоғары өсу жылдамдығы 6 айлық жасқа дейін, яғни бұқашықтардың жыныстық жетілуінің басталу кезеңінде байқалды. 12 айлық жасқа қарай, яғни жануарларды етке соя бастайтын кезеңде, өсу жылдамдығы күрт баяулағанымен, әлі де жеткілікті жоғары деңгейде қалды [6, 14б., 7, 12б]. 15 және 18 айлық жаста – етке ең көп мөлшерде жас мал сойылатын кезеңде – салыстырмалы өсу жылдамдығы одан әрі төмендеді [8, 96б]. Кейбір ауыл шаруашылығы кәсіпорындарында жас малды ұстап тұратын екі жасқа қарай, жекелеген зерттеушілердің пікірінше, өсу іс жүзінде тоқтайды немесе өте төмен жылдамдықпен жалғасады [9, 132б., 10, 28б., 11, 188б.].

Өсу қарқындылығының шаруашылыққа пайдалы белгі ретіндегі маңыздылығын ескере отырып, оның жоғарылауы, әдетте, жануарлардың ет өнімділігінің артуымен және азықтың тірілей салмақ өсіміне жұмсалу тиімділігінің жақсаруымен қатар жүретінін атап өткен жөн. Өсу қарқындылығы мен өнім өсімінің бірлігіне жұмсалатын азық шығыны арасында теріс корреляциялық байланыс (r = –0,60…–0,70) анықталған [12, 1446б., 13, 2026б., 14, 370б.]. Алайда бұл туралы тәжірибедегі жануарларды бақылау союының нәтижелерін және алынған ұшаларды сүйектен ажырату жұмыстарын қарастырған кезде неғұрлым нақты айтуға болады.

Әртүрлі өндірістік типтегі симменталь тұқымды жануарларға зерттеу жүргізу барысында біз тәжірибедегі жас малдың салмақтық өсу коэффициенттерін де зерттедік. Алынған нәтижелер 4-кестеде берілген (4-ші кесте).

4 кесте – Тәжірибедегі бұқашықтардың салмақтық өсу коэффициенттері

Жас кезеңдері, ай	Өндірістік типтер		
	Сүтті	Сүтті-етті	Етті-сүтті
0-3	3,38	3,31	3,49
0-6	5,41	5,28	5,93
0-9	7,67	7,46	8,49
0-12	10,12	9,85	11,0
0-15	12,72	12,45	13,67
0-18	15,32	15,13	16,30

4-кесте мәліметтері әртүрлі кезеңдердегі салмақтық өсу коэффициенттерінің етті-сүтті өндірістік типтегі бұқашықтарда жоғары болғанын көрсетеді. Орташа тәуліктік салмақ қосуын зерттеу ғылыми-шаруашылық тәжірибе барысында жүргізілді. Біз алған материалдарды 5-кестені зерттеп, талдау арқылы қарастыруға болады (5-ші кесте).

5 кесте – Бұқашықтардың тірі салмағының орташа тәуліктік өсімі, г

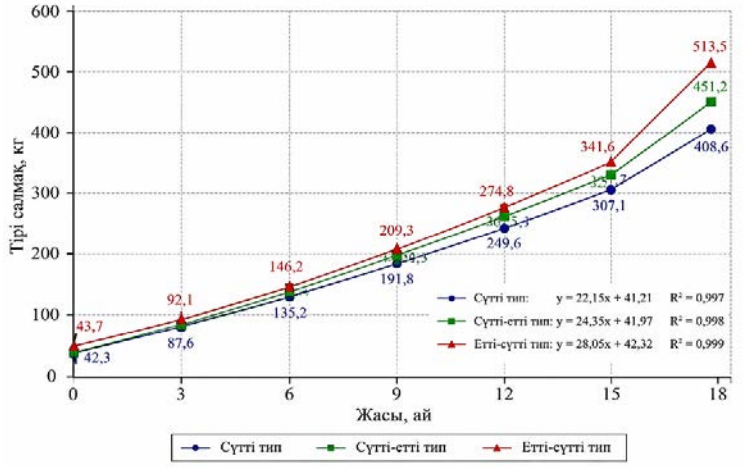
Жасы, ай	Өндірістік типтер		
	Сүтті	Сүтті-етті	Етті-сүтті
0-3	794±17,5	808±18,0	879±16,8
3-6	676±14,7	685±12,9	850±18,7
6-9	755±16,2	756±15,8	892±17,5
9-12	810±18,3	812±17,2	901±17,3

5-кестенің жалғасы

12-15	855±19,4	869±18,4	914±19,2
15-18	899±17,2	898±16,3	908±15,9
0-18	850±19,6	855±18,7	915±18,3

Ұсынылған кестелік мәліметтерден тәжірибедегі жануарлардың өсу қарқындылығы іс жүзінде бір жарым жасқа дейін ең жоғары болғаны көрінеді. Сонымен қатар етті-сүтті типтегі бұқашықтар 15-тен 18 айға дейінгі кезеңде алдыңғы кезеңмен салыстырғанда тәуліктік салмақ қосуын біршама төмендетті (7г-ға). Әрине, орташа тәуліктік өсімнің мұндай деңгейі, өсу процесінің қарқындылығы мен шиеленістілігі, салыстырмалы өсу жылдамдығы өмірдің барлық кезеңдерінде жеткілікті жоғары азықтандыру деңгейін және протеинмен қамтамасыз етілуін талап етті. Сондықтан мұнда өмірдің барлық кезеңдерінде бір азық өлшеміне 106,4-тен 106,9 г-ға дейін қорытылатын протеин келгенін және өсіру нәтижелері нақты ғылыми қызығушылық тудыратынын атап өткен жөн.

Жоғарыда айтылғандардың барлығына қосымша ретінде, 1-суретте біз бұқашықтардың тірі салмағының жасқа тәуелділігінің сызықтық регрессиясын келтірдік. Регрессиялық сызықтар жануарлардың жасы мен олардың тірі салмағының артуы арасындағы байланыстың жоғары тығыздығын көрсетеді (1-ші сурет).



1 сурет – Әртүрлі өндірістік типтегі бұқашықтардың тірі салмағының жасқа тәуелділігінің сызықтық регрессиясы

Сонымен қатар біз «өндірістік тип» пен орташа тәуліктік өсім бойынша дисперсиялық талдау жүргіздік. Эксперименттік деректерді статистикалық өңдеу вариациялық статистика әдістерін қолдану арқылы жүргізілді. Өндірістік типтің тірі салмақ пен орташа тәуліктік өсім көрсеткіштеріне әсерін бағалау үшін бір факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) қолданылды. Фактор әсерінің күші η^2 коэффициенті бойынша бағаланды. Тірі салмақтың жасқа тәуелділігін зерттеу үшін детерминация коэффициентін R^2 анықтай отырып, сызықтық регрессиялық талдау жүргізілді. Есептеулер тәжірибе барысында алынған орташа мәндер мен орташа қателіктер негізінде орындалды.

Бір факторлы дисперсиялық талдау нәтижелері «өндірістік тип» факторының 3 айлық жастағы бұқашықтардың тірі салмағына статистикалық тұрғыдан маңызды әсер етпегенін көрсетті ($F=2,290$; $p=0,117$), алайда 6 айлық жастан бастап бұл фактордың әсері сенімді бола бастады және тәжірибе соңына дейін сақталды. Ең жоғары әсер күші 12 айлық жаста анықталды ($F=17,027$; $p<0,001$; $\eta^2=0,508$), бұл өндірістік типтің жануарлардың тірі салмағының қалыптасуына айтарлықтай үлес қосатынын көрсетеді (6-шы кесте).

6 кесте – Әртүрлі өндірістік типтегі симменталь тұқымды бұқашықтардың тірі салмағына жүргізілген бір факторлы дисперсиялық талдау нәтижелері

Көрсеткіш	SS фактор	df	MS фактор	F-критерий	p-value	η^2
Тірі салмақ, 3 ай	486.96	2; 33	243.48	2.290	0.117089	0.122
Тірі салмақ, 6 ай	3924.56	2; 33	1962.28	11.153	0.000199	0.403
Тірі салмақ, 9 ай	9990.96	2; 33	4995.48	12.924	0.000072	0.439
Тірі салмақ, 12 ай	13378.64	2; 33	6689.32	17.027	0.000008	0.508
Тірі салмақ, 15 ай	14543.28	2; 33	7271.64	13.075	0.000066	0.442
Тірі салмақ, 18 ай	17752.88	2; 33	8876.44	13.819	0.000044	0.456

Орташа тәуліктік өсімге жүргізілген дисперсиялық талдау өндірістік типтің ең айқын әсері 3–6 және 6–9 айлық кезеңдерде байқалғанын көрсетті, мұнда айырмашылықтар өте жоғары сенімді болды (тиісінше F=19,670 және F=22,770; p<0,001). Бұқашықтардың тірі салмағының орташа тәуліктік өсіміне жүргізілген бір факторлы дисперсиялық талдау нәтижелері 7-ші кестеде көрсетілген (7-ші кесте).

7 кесте – Бұқашықтардың тірі салмағының орташа тәуліктік өсіміне жүргізілген бір факторлы дисперсиялық талдау нәтижелері

Көрсеткіш	SS фактор	df	MS фактор	F-критерий	p-value	η²
Орташа тәуліктік өсім, 0–3 ай	46966.67	2; 33	23483.33	6.829	0.003299	0.293
Орташа тәуліктік өсім, 3-6 ай	222120.67	2; 33	111060.33	19.670	0.000002	0.544
Орташа тәуліктік өсім, 6-9 ай	132600.67	2; 33	66300.33	22.770	0.000001	0.580
Орташа тәуліктік өсім, 9-12 ай	54978.00	2; 33	27489.00	8.713	0.000916	0.346
Орташа тәуліктік өсім, 12-15 ай	24156.67	2; 33	12078.33	3.089	0.058893	0.158
Орташа тәуліктік өсім, 15-18 ай	672.67	2; 33	336.33	0.121	0.885484	0.007
Орташа тәуліктік өсім, 0–18 ай	32400.67	2; 33	16200.33	4.285	0.022271	0.206

12–15 айлық жаста сенімділікке бейімділік байқалды (p=0,059), ал 15–18 айлық кезеңде топтар арасындағы айырмашылықтар іс жүзінде жойылды (F=0,121; p=0,885). Бұл әртүрлі өндірістік типтегі бұқашықтардың өнімділік қасиеттерінің ең жоғары дифференциациясы постэмбриональдық дамудың ерте және орта кезеңдерінде байқалғанын көрсетеді.

Бұқашықтарды өсірудің экономикалық тиімділігі азық шығындары, алынған тірі салмақ өсімі және өнімді шартты түрде өткізу негізінде бағаланды. Есептеулер жануарларды 18 айлық жаста бордақылау аяқталғаннан кейін тәжірибелік деректер негізінде жүргізілді.

Экономикалық тиімділікті анықтау кезінде келесі көрсеткіштер ескерілді: – азық шығындары (азық өлшемімен); – 1 азық өлшемінің өзіндік құны; – тірі салмақтың жалпы өсімі; – 1 кг тірі салмақты өткізу құны; – пайда және рентабельділік деңгейі (8-ші кесте).

8 кесте – Бұқашықтарды өсірудің экономикалық тиімділігі

Көрсеткіш	Сүтті	Сүтті-етті	Етті-сүтті
18 айдағы тірі салмақ, кг	459,8	472,0	513,5
Жалпы өсім, кг	429,8	440,8	482,0
Азық шығындары, азық өлш.	3010	3020	3030
Азыққа кеткен шығын, тг	361200	362400	363600
1 кг өсімнің өзіндік құны, тг	840	822	754
Өнімді өткізуден түскен түсім, тг	551760	566400	616200
Пайда, тг	190560	204000	252600
Рентабельділік, %	52,7	56,3	69,5

Ескерту: Есептеулер үшін орташа нарықтық көрсеткіштер қабылданды (Солтүстік Қазақстан жағдайы): – 1 азық өлшемінің құны – 120 теңге; – 1 кг тірі салмақты өткізу бағасы – 1200 теңге.

Алынған мәліметтер әртүрлі өндірістік типтегі бұқашықтарды өсірудің экономикалық тиімділігінде айтарлықтай айырмашылықтар бар екенін көрсетті. Анықталғаны:

- тірі салмақтың ең жоғары жалпы өсімі етті-сүтті типтегі бұқашықтарда алынды (482,0 кг);
- олардағы 1 кг өсімнің өзіндік құны ең төмен болды (754 тг), бұл басқа топтармен салыстырғанда 10–12%-ға төмен;
- ең жоғары пайда бір басқа шаққанда 252600 тг құрады, бұл сүтті тип көрсеткіштерінен 32,6%-ға жоғары;
- рентабельділік деңгейі 69,5%-ға жетті, бұл зерттелген топтар арасындағы ең жоғары көрсеткіш болып табылады.

Сүтті-етті типтегі бұқашықтар барлық экономикалық көрсеткіштер бойынша аралық орын алды, ал сүтті типтегі жануарлар ең төмен тиімділікпен сипатталды.

Экономикалық талдау нәтижелерін дисперсиялық және корреляциялық талдау деректерімен салыстыру мыналарды көрсетеді:

- жоғары өсу қарқындылығы (r = 0,82–0,91) пайданың артуымен тікелей байланысты;
- өндірістік типтің өнімділікке әсері (η^2 0,50-ге дейін) экономикалық тиімділікке айналады;
- өзіндік құнның төмендеуі азықтың салмақ қосумен жақсы өтелуіне байланысты.

Қорытынды. Осылайша, биологиялық көрсеткіштердегі статистикалық тұрғыдан маңызды айырмашылықтардың тікелей экономикалық көрінісі бар. Экономикалық талдау жануарлардың өнімділігін биологиялық бағалау нәтижелерін растады. Етті-сүтті типтегі бұқашықтардың басқа топтардан тек өсу көрсеткіштері бойынша ғана емес, сонымен қатар ең жоғары экономикалық қайтарымдылықты қамтамасыз ететіні анықталды. Бұл оларды Солтүстік Қазақстан жағдайында сиыр етін өндіру кезінде кеңінен пайдалануға ұсынуға мүмкіндік береді.

Осылайша, биологиялық және экономикалық артықшылықтардың үйлесуі етті-сүтті өндірістік типті Солтүстік Қазақстан жағдайында сиыр етін өнеркәсіптік өндіру үшін ең перспективалы тип етеді.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1. **Захаров Н.Б., Васильев И. Мясная продуктивность бычков симментальской породы при откорме до 600–700 кг** [Текст] / Н.Б. Захаров, И. Васильев // Молочное и мясное скотоводство. – Киев: Урожай, 1980. – Вып. 4. – С. 28–30.

2. **Легошин Г.П. Технология производства говядины в молочном и мясном скотоводстве Казахстана** [Текст] / Г.П. Легошин // Аграрная наука Казахстана. – 1999. – № 4. – С. 15–19.

3. **Меркурьева Е.К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных** [Текст]: учебное пособие для зоотехнических вузов и факультетов / Е.К. Меркурьева. – Москва: Колос, 1970. – 423 с.

4. **Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных** [Текст]: справочное пособие / под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва, 2003. – 456 с.

5. **Радченко В.В., Лютый Ю.М. Интенсивное выращивание на мясо голштинизированных симменталов различной кровности** [Текст] / В.В. Радченко, Ю.М. Лютый // Аграрная наука. – 1997. – № 3. – С. 39–41.

6. **Стрекозов Н.И. Симменталы – порода XXI века** [Текст] / Н.И. Стрекозов // Животноводство Казахстана. – 2002. – № 4. – С. 14–15.

7. **Iglesias A., Mata F., Cerqueira J.L., Kowalczyk A., Cantalapiedra J., Ferreiro J., Araújo J. Analysis of growth models in Galician × Nelore crossbred cattle in the first year of life** [Text] / A. Iglesias, F. Mata, J.L. Cerqueira, A. Kowalczyk, J. Cantalapiedra, J. Ferreiro, J. Araújo // Animals. – 2024. – Vol. 14. – № 24. – Article 3698. – DOI: 10.3390/ani14243698.

8. **Косилов В.И., Никонова Е.А., Вильвер Д.С. и др. Эффективность производства говядины** [Текст] / В.И. Косилов, Е.А. Никонова, Д.С. Вильвер и др. // Молодой ученый. – 2017. – № 9 (143). – С. 94–97.

9. **Дикарев А.Г., Свистунов С.В. Продуктивность абердин-ангусского скота в условиях экстенсивной технологии** [Текст] / А.Г. Дикарев, С.В. Свистунов // Сборник научных трудов КНЦЗВ. – Краснодар, 2024. – Т. 13. – № 1. – С. 129–134.

10. **Kozyr V., Mykytiuk V., Kalinichenko O., Pryshedko V., Begma N. Growth energy and quality of beef from bulls of Maine-Anjou, Chianina, and Santa Gertrudis breeds grown in Ukraine** [Text] / V. Kozyr, V. Mykytiuk, O. Kalinichenko, V. Pryshedko, N. Begma // Scientific Horizons. – 2023. – Vol. 26. – № 4. – P. 21–32. – DOI: 10.48077/scihor4.2023.21.

11. **Kabuga J.D., Agyemang K. Factors influencing growth of Canadian Holstein calves in Ghana** [Text] / J.D. Kabuga, K. Agyemang // Tropical Animal Health and Production. – 1983. – Vol. 15. – № 3. – P. 186–190. – DOI: 10.1007/BF02239931.

12. **Retallick K.J., Bormann J.M., Weaber R.L. et al. Genetic variance and covariance and breed differences for feed intake and average daily gain to improve feed efficiency in growing cattle** [Text] / K.J. Retallick, J.M. Bormann, R.L. Weaber et al. // Journal of Animal Science. – 2017. – Vol. 95. – № 4. – P. 1444–1450. – DOI: 10.2527/jas.2016.1260.

13. **Arthur P.F., Archer J.A., Herd R.M., Richardson E.C. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle** [Text] / P.F. Arthur, J.A. Archer, R.M. Herd, E.C. Richardson // Journal of Animal Science. – 1997. – Vol. 75. – P. 2024–2032.

14. **Crews D.H., Kemp R.A. Genetic parameter estimation of postweaning gain, feed intake, and feed efficiency for Hereford and Angus bulls fed two different diets** [Text] / D.H. Crews, R.A. Kemp // Journal of Animal Science. – 1995. – Vol. 73. – № 2. – P. 365–372. – DOI: 10.2527/1995.732365x.

REFERENCES:

1. **Zaharov N.B., Vasilev I. Myasnaya produktivnost' by'chkov simmental'skoj porody' pri otkorme do 600–700 kg** [Meat productivity of Simmental bulls fattened to a live weight of 600–700 kg]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo,* Kyiv, Urozhaj, 1980, no. 4, pp. 28–30. (In Russian)

2. **Legoshin G.P. Tehnologiya proizvodstva govyadiny' v molochnom i myasnom skotovodstve Kazahstana** [Beef production technology in dairy and beef cattle farming in Kazakhstan]. *Agrarnaya nauka Kazahstana*, 1999, no. 4, pp. 15–19. (In Russian)

3. **Merkureva E.K. Biometriya v selekcii i genetike sel'skohozyajstvenny'h zhivotny'h** [Biometrics in the breeding and genetics of farm animals]. Moscow, Kolos, 1970, 423 p. (In Russian)

4. **Normy' i raciony' kormleniya sel'skohozyajstvenny'h zhivotny'h** [Feeding standards and diets for farm animals]. Ed. by Kalashnikov A.P., Fisinin V.I., Shheglov V.V., Klejmenov N.I., Moscow, 2003, 456 p. (In Russian)

5. **Radchenko V.V., Lyutyj Yu.M. Intensivnoe vy'rashhivanie na myaso golshtinizirovanny'h simmentalov razlichnoj krovnosti** [Intensive beef production of Holsteinized Simmental cattle with different levels of Holstein blood]. *Agrarnaya nauka*, 1997, no. 3, pp. 39–41. (In Russian)

6. **Strekozov N.I. Simmentaly' – poroda XXI veka** [Simmental cattle: a breed of the twenty-first century]. *Zhivotnovodstvo Kazahstana*, 2002, no. 4, pp. 14–15. (In Russian)

7. **Iglesias A., Mata F., Cerqueira J.L. et al. Analysis of growth models in Galician × Nelore crossbred cattle in the first year of life.** *Animals*, 2024, vol. 14, no. 24, art. 3698. https://doi.org/10.3390/ani14243698.

8. **Kosilov V.I., Nikonova E.A., Vilver D.S. et al. E'ffektivnost' proizvodstva govyadiny'** [Efficiency of beef production]. *Molodoj ucheny'j*, 2017, no. 9 (143), pp. 94–97. (In Russian)

9. **Dikarev A.G., Svistunov S.V. Produktivnost' aberdin-angusskogo skota v usloviyah e'kstensivnoj tehnologii** [Productivity of Aberdeen Angus cattle under extensive production technology]. *Sbornik nauchny'h trudov KNCZV*, 2024, vol. 13, no. 1, pp. 129–134. (In Russian)

10. **Kozyr V., Mykytiuk V., Kalinichenko O., Pryshedko V., Begma N. Growth energy and quality of beef from bulls of Maine-Anjou, Chianina, and Santa Gertrudis breeds grown in Ukraine.** *Scientific Horizons*, 2023, vol. 26, no. 4, pp. 21–32. https://doi.org/10.48077/scihor4.2023.21.

11. **Kabuga J.D., Agyemang K. Factors influencing growth of Canadian Holstein calves in Ghana.** *Tropical Animal Health and Production*, 1983, vol. 15, no. 3, pp. 186–190. https://doi.org/10.1007/BF02239931.

12. **Retallick K.J., Bormann J.M., Weaber R.L. et al. Genetic variance and covariance and breed differences for feed intake and average daily gain to improve feed efficiency in growing cattle.** *Journal of Animal Science*, 2017, vol. 95, no. 4, pp. 1444–1450. https://doi.org/10.2527/jas.2016.1260.

13. **Arthur P.F., Archer J.A., Herd R.M., Richardson E.C. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake, and feed efficiency in British breed cattle.** Jou*rnal of Animal Science*, 1997, vol. 75, pp. 2024–2032.

14. **Crews D.H., Kemp R.A. Genetic parameter estimation of postweaning gain, feed intake, and feed efficiency for Hereford and Angus bulls fed two different diets.** *Journal of Animal Science*, 1995, vol. 73, no. 2, pp. 365–372. https://doi.org/10.2527/1995.732365x.

Жіберілген күні: 28 мамыр 2026 ж. **Қабылданған күні:** 09 маусым 2026 ж.
Жарияланған күні: 30 қыркүйек 2026 ж.

Авторлар туралы мәліметтер:

Шегенов Серикпай Тайшебаевич – ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы, 020000, Абай көш., 76, тел.: 87784951337, e-mail: serikshegenov2222@gmail.com.

Алпысов Анапия Рахимжанович – ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының сеньор-лекторы, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы, 020000, Абай көш., 76, тел.: 87015372400, e-mail: alpysov.61@mail.ru.

Бекимова Гульжиян Бегалиевна – PhD доктор, ауыл шаруашылығы және биоресуртар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» ҚеАҚ, Көкшетау қ., Қазақстан Республикасы, 020000, Абай көш., 76, тел.: 87023160352, e-mail: bgbask@inbox.ru.*

Есжанова Эльмира Бирликбаевна – ауыл шаруашылық ғылымдарының кандидаты, "Қазақ мал шаруашылығы және жем-шөп өндірісі ғылыми-зерттеу институты" ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 050035, Жандосов көш, 51, тел.: 87015454882, e-mail: esel40@mail.ru.

Шегенов Серикпай Тайшебаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая 76, тел.: 87784951337, e-mail: serikshegenov2222@gmail.com.

Алпысов Анапия Рахимжанович – сеньор-лектор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая 76, тел.: 87015372400, e-mail: alpysov.61@mail.ru.

Бекимова Гульжиян Бегалиевна – PhD доктор, ассоциированный профессор кафедры сельского хозяйства и биоресурсов, НАО «Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова», Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая 76, тел.: 87023160352, e-mail: bgbask@inbox.ru.*

Есжанова Эльмира Бирликбаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства», Республика Казахстан, 050035, г. Алматы, ул. Жандосова, 51, тел.: 87015454882, e-mail: esel40@mail.ru.

Shegenov Serikpay Taishebayevich – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87023160352, e-mail: serikshegenov2222@gmail.com.

Alpyssov Anapiya Rakhimzhanovich – Senior Lecturer, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87015372400, e-mail: alpysov.61@mail.ru.

Bekimova Gulzhiyan Begaliyevna – PhD, Associate Professor, Department of agriculture and bioresources, Sh. Ualikhanov Kokshetau University NLC, Kokshetau, Republic of Kazakhstan, 020000, Kokshetau, 76 Abai Str., tel.: 87023160352, e-mail: bgbask@inbox.ru.*

Yeszhanova Elmira Birlikbayevna – Candidate of Agricultural Sciences, Kazakh Research Institute of Livestock and Fodder Production LLP, Republic of Kazakhstan, 0500345, Almaty, 51 Zhandossov Str., tel.: 87015454882, e-mail: esel40@mail.ru.

IRSTI 03.20.00
UDC 94(574)"12/14"
https://doi.org/10.52269/SEPT2631262

STATE AND LEGAL SYSTEMS IN THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN IN THE XIII-XV CENTURIES: CONTINUITY AND TRANSFORMATION

Berdyguzhin L.B. – Doctor of Historical Sciences, Associate Professor, Department of history of Kazakhstan, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Republic of Kazakhstan.

Yessenbetova A.M. – Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Republic of Kazakhstan.*

The article examines the formation, functioning, and transformation of the state and legal institutions of political entities that existed in the territory of Kazakhstan and the adjacent regions of Central Asia in the XIII-XV centuries. Particular attention is paid to the Golden Horde, the Chagatai Ulus, Moghulistan, and the Timur's state as interconnected stages in the development of post-Mongol political organization. The study analyzes supreme authority, the ulus and military-administrative systems, territorial organization, taxation, legal regulation, and mechanisms for legitimizing rulers' authority. The source base and historiographical framework of the study comprise Eastern written sources, archaeological evidence, and scholarly works on the history of state and law. Comparative, historical-genetic, problem-chronological, and systemic methods are employed. The study demonstrates that political fragmentation did not eliminate the institutional foundations established during the Mongol period. The decimal military organization, dynastic legitimacy, qurultays, seals, khans' decrees, taxation mechanisms, and ulus administration continued to function while simultaneously adapting to diverse regional conditions. The reforms of Kebek Khan indicate an effort to strengthen the territorial and fiscal administration of the Chagatai Ulus, whereas the political system of Moghulistan demonstrates a combination of Chagatai dynastic legitimacy and the influence of powerful tribal emirs. In Timur's state, Mongol political and legal traditions coexisted with an increasingly influential Islamic normative order. The article concludes that the continuity and adaptation of these institutions created important historical preconditions for subsequent processes of state and legal development in the Kazakh steppe. Particular attention is devoted to the relationship between military organization and territorial administration, as well as to the role of urban centers, coinage, seals, and officials in the practical exercise of authority. A comparison of these elements reveals not only the common features of the states under consideration but also regional differences in approaches to centralization, interaction with the tribal nobility, and the administration and regulation of the tax-paying population.

Keywords: *Golden Horde, Chagatai Ulus, Moghulistan, Timur, state system, legal system, Yassa.*

XIII-XV ҒАСЫРЛАРДАҒЫ ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ МЕМЛЕКЕТТІК-ҚҰҚЫҚТЫҚ ЖҮЙЕЛЕР: САБАҚТАСТЫҚ ЖӘНЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Бердыгужин Л.Б. – тарих ғылымдарының докторы, қауымдастырылған профессор, Қазақстан тарихы кафедрасы, Х. Досмұхамедұлы атындағы Атырау университеті, Атырау қ., Қазақстан Республикасы.

Еспенбетова А.М. – тарих ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан Республикасы.*

Мақалада XIII-XV ғасырларда Қазақстан аумағында және Орталық Азияның іргелес өңірлерінде өмір сүрген саяси құрылымдардың мемлекеттік-құқықтық институттарының қалыптасуы, қызмет етуі және трансформациясы қарастырылады. Алтын Орда, Шағатай ұлысы, Моғолстан және Темір мемлекеті моңғол дәуірінен кейінгі саяси ұйымның өзара сабақтас даму кезеңдері ретінде талданады. Зерттеуде жоғарғы билік, ұлыстық және әскери-әкімшілік жүйе, аумақтық құрылым, салық салу, құқықтық реттеу және билеушілердің өз өкілеттігін заңдастыру тетіктеріне ерекше назар аударылады. Деректік және тарихнамалық негізді бастапқы зерттеуде пайдаланылған шығыс жазба деректеріне, археологиялық материалдарға және мемлекет пен құқық тарихына арналған зерттеулер құрайды. Салыстырмалы, тарихи-генетикалық, проблемалық-хронологиялық және жүйелік әдістер қолданылды. Саяси бытыраңқылық моңғол дәуірінде қалыптасқан институционалдық негіздерді толық жоймағаны көрсетіледі. Ондық әскери ұйым, әулеттік легитимдік, құрылтайлар, мөрлер, хан жарлықтары, салық тетіктері мен ұлыстық басқару әртүрлі аймақтық жағдайларға бейімделе отырып сақталды. Кебек ханның реформалары Шағатай ұлысындағы аумақтық және фискалдық басқаруды күшейтуге бағытталған шараларды көрсетсе, Моғолстанның саяси жүйесі шағатайлық әулеттік заңдылық пен ықпалды тайпалық әмірлер билігінің өзара байланысын аңғартады. Темір мемлекетінде моңғолдық саяси-құқықтық дәстүрлер исламдық нормативтік жүйенің күшеюімен қатар өмір сүрді. Зерттеу қорытындысында аталған институттардың сабақтастығы мен бейімделуі қазақ даласындағы кейінгі мемлекеттік-құқықтық даму үдерістерінің ма-

ңызды тарихи алғышарттарының бірін қалыптастырғаны тұжырымдалады. Әскери ұйым мен аумақтық басқарудың өзара байланысына, сондай-ақ қалалық орталықтардың, теңге соғудың, мөрлердің және лауазымды тұлғалардың билікті іс жүзінде жүзеге асырудағы рөліне ерекше көңіл бөлінеді. Осы элементтерді салыстыру қарастырылған мемлекеттердің ортақ белгілерін ғана емес, орталықтандыру тәсілдеріндегі, тайпалық ақсүйектермен өзара қатынастағы және салық төлеуші халықты басқарудағы аймақтық ерекшеліктерді де айқындауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: *Алтын Орда, Шағатай ұлысы, Моғолстан, Темір, мемлекеттік жүйе, құқықтық жүйе, Ұлы Жасақ.*

ГОСУДАРСТВЕННО-ПРАВОВЫЕ СИСТЕМЫ НА ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА В XIII-XV ВЕКАХ: ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ И ТРАНСФОРМАЦИЯ

Бердыгужин Л.Б. – доктор исторических наук, ассоциированный профессор, кафедра истории Казахстана, Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, г. Атырау, Республика Казахстан.

Еспенбетова А.М. – кандидат исторических наук, доцент, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Актобе, Республика Казахстан.*

В статье рассматриваются формирование, функционирование и трансформация государственно-правовых институтов политических образований, существовавших на территории Казахстана и сопредельных регионов Центральной Азии в XIII-XV веках. Особое внимание уделяется Золотой Орде, Чагатайскому улусу, Могулистану и государству Тимура как взаимосвязанным этапам развития постмонгольской политической организации. Анализируются верховная власть, улусная и военно-административная система, территориальное устройство, налогообложение, правовое регулирование и механизмы легитимации власти правителей. Источниковую и историографическую основу составляют труды и материалы восточных письменных источников, археологических данных и истории государства и права. Применены сравнительный, историко-генетический, проблемно-хронологический и системный методы. Показано, что политическая раздробленность не уничтожила институциональные основы, сложившиеся в монгольскую эпоху. Десятичная военная организация, династическая легитимность, курултаи, печати, ханские распоряжения, налоговые механизмы и улусное управление сохранялись, одновременно приспосабливаясь к различным региональным условиям. Реформы Кебек-хана свидетельствуют о стремлении укрепить территориальное и фискальное управление Чагатайского улуса, тогда как политическая система Могулистана демонстрирует сочетание чагатайской династической легитимности с влиянием крупных племенных эмиров. В государстве Тимура монгольские политико-правовые традиции сосуществовали с усиливавшимся исламским нормативным порядком. Сделан вывод, что преемственность и адаптация этих институтов создали важные исторические предпосылки для последующих процессов государственно-правового развития в казахской степи. Существенное внимание уделяется связи между военной организацией и территориальным управлением, а также роли городских центров, монетной чеканки, печатей и должностных лиц в практическом осуществлении власти. Сопоставление этих элементов позволяет показать не только общие черты рассматриваемых государств, но и региональные различия в способах централизации, взаимодействии с племенной знатью и регулировании податного населения.

Ключевые слова: *Золотая Орда, Чагатайский улус, Могулистан, Тимур, государственная система, правовая система, Великая Яса.*

Introduction. The thirteenth to fifteenth centuries occupy a special place in the history of statehood in the territory of Kazakhstan. The political order that emerged after the Mongol conquests connected the steppe regions of Eastern Desht-i Qipchaq with a wider imperial system and subsequently produced a number of autonomous and independent political formations. Among them, the Golden Horde, the Chagatai Ulus, Moghulistan and the state of Timur played a decisive role in the political history of the region. Their institutions combined inherited Turkic traditions, the military-bureaucratic mechanisms of the Mongol Empire and, increasingly, Islamic norms and administrative practices.

The relevance of the problem lies in the need to examine these states not merely as successive dynastic regimes but as interconnected stages in the development of political and legal institutions. The underlying research emphasizes the relationships, similarities and differences among their systems of government, territorial organization, taxation and law, and links these processes to the longer development of Kazakh statehood. Such an approach makes it possible to consider institutional continuity alongside political fragmentation and regional transformation.

Historiography on the subject developed through several complementary approaches. V.V. Bartold reconstructed the political and cultural history of Central Asia and the Mongol period from Oriental written sources [1], while B.D. Grekov and A.Yu. Yakubovsky examined the political history of the Golden Horde [2].

G.A. Fedorov-Davydov shifted attention toward its social organization and material foundations [3], and T.I. Sultanov analyzed Chinggisid political elites and mechanisms of dynastic legitimacy [4].

Kazakhstani scholarship has increasingly placed the medieval states of the steppe within the longer development of statehood in Kazakhstan. E. Abil systematized the evolution of state and legal institutions, while studies of Ak Orda and the eastern Jochid space clarified the territorial and political processes that preceded later state formations [5]. Taken together, these works make it possible to analyze the period not only through dynastic chronology, but through the continuity and transformation of administrative, fiscal and legal institutions.

The aim of the article is to identify the principal features of the state and legal systems that operated in the territory of Kazakhstan and neighboring Central Asian regions in the thirteenth–fifteenth centuries and to determine the forms of institutional continuity and transformation that connected the Golden Horde, the Chagatai Ulus, Moghulistan and the Timurid state. The **objectives** are:

- to characterize the system of supreme and military-administrative power in the Golden Horde;
- to examine its territorial organization, taxation and legal regulation; to analyze the governmental structure of the Chagatai Ulus and Moghulistan;
- to identify the principal administrative features of Timur's state;
- to assess the relationship between the Mongol legal tradition and Sharia in the changing political environment of the fourteenth and fifteenth centuries.

Methodology. The methodological framework combines the principles of historicism, comparative analysis and systemic interpretation. Historical-genetic analysis is used to trace the origins and evolution of institutions from the unified Mongol imperial model to the political systems of successor states. The comparative-historical method allows the identification of common administrative mechanisms and regional differences. Typological analysis is applied to forms of rulership, territorial organization and military administration, while historiographical analysis is used to distinguish the interpretations offered by different scholarly traditions.

The comparative method is applied at several levels. First, the Golden Horde, Chagatai Ulus, Moghulistan and Timurid state are compared according to the organization of supreme power, the role of military elites, territorial administration and legal norms. Second, the article compares different stages within the same political tradition, for example the early dependence of the Jochid ulus on the Great Khan and its later political autonomy. Third, legal change is considered through the interaction of customary-imperial norms and Islamic law. Such comparison makes it possible to identify both inherited structures and innovations without assuming that all post-Mongol states developed in an identical manner.

The problem-chronological approach organizes the material around institutional questions rather than around a continuous narrative of military campaigns. This is necessary because the same institution could change its political meaning over time. Coinage, for example, was not only an economic instrument but also a marker of sovereignty when rulers issued money in their own name. Seals, paizas and decrees likewise served practical administrative functions while simultaneously expressing political authority. A systemic approach therefore connects military, fiscal, legal and symbolic mechanisms instead of treating them as unrelated elements of medieval government.

The source base requires critical interpretation. Court chronicles often represented rulers through political and religious ideals, especially in descriptions of Timur's Islamic piety. For this reason, narrative evidence is compared with numismatic, diplomatic and institutional materials that demonstrate the continuing importance of Mongol political and legal traditions. This approach allows normative claims to be distinguished from administrative practice.

The study also treats legal development as a process of coexistence and adaptation rather than a simple replacement of one normative order by another. This is particularly important for the Timurid period, when chronicles often emphasized Islamic legitimacy, while evidence concerning titles, coinage, decrees, military organization and Chinggisid political symbolism indicates the continued significance of Mongol traditions.

Results and discussion. The governmental system of the Golden Horde developed from the ulus organization established after the conquests of Chinggis Khan. Political authority rested on dynastic legitimacy and military power. The khan was regarded as the supreme ruler, military commander and holder of authority over land and population. The armed forces were organized according to the decimal principle into tens, hundreds, thousands and tumens, while commanders were subordinated through a hierarchical chain. Darughas and basqaqs performed important administrative and fiscal functions, linking the center with subject territories [5, p. 66].

The institution of the qurultai retained a significant place in political life. Assemblies could participate in questions of succession, major campaigns and relations among Chinggisid rulers. The political importance of such gatherings did not mean that the Golden Horde functioned as a collective government; rather, the qurultai connected dynastic legitimacy with the consent and participation of influential members of the ruling elite. The khan's authority was also expressed materially through the seal and the paiza. These objects confirmed delegated authority and facilitated the movement of officials and envoys through the communication system of the realm.

The changing relationship with the center of the Mongol Empire illustrates the development of sovereignty. Under the early Jochid rulers, important aspects of external relations and dynastic appointment remained connected to Karakorum. During the reign of Mongke-Temur, the Golden Horde achieved effective political independence, a development reflected in the minting of coins bearing the ruler's own name. The qurultai of 1269 further marked the weakening of dependence on the Great Khan. In this context, coinage, diplomacy and administrative autonomy should be read together as indicators of the consolidation of a separate Jochid political system.

Territorially, the Golden Horde was organized through a division into right and left wings, alongside major ulus formations. The eastern part of the Jochid realm, associated with Orda Ejen and later with the Ak Orda political tradition, covered a substantial part of the territory of present-day Kazakhstan. Sighnaq became an important political center in this eastern steppe zone. The development of Ak Orda and the subsequent political formations of the steppe illustrates how the original Jochid framework generated new centers of authority without completely abandoning Chinggisid concepts of legitimacy [6, p. 140].

Ak Orda illustrates how the eastern wing could develop a substantial degree of political autonomy while remaining embedded in the wider Chinggisid tradition. The research associates its territory with the lands stretching from the Altai and Irtysh toward the Ural River, the Syr Darya basin and the northern Aral region. Its population included numerous Turkic-speaking tribal groups that later participated in the ethnopolitical consolidation of the Kazakh steppe. The political center gradually shifted toward the Syr Darya cities, and Syganak became a permanent capital. This movement toward an urban center did not abolish steppe mobility; instead, it created a dual political geography in which the ruler's court, pasture zones, military resources and urban administration complemented one another [6, p. 140].

The later political fragmentation of the eastern Jochid territories further confirms the durability of the inherited institutional framework. The weakening of Ak Orda and the rise of the Nogai Horde and the polity of Abulkhair did not erase the principles of ulus organization, military leadership or Chinggisid legitimacy. Instead, new political unions emerged through redistribution of territories, tribal groupings and elite loyalties. The research gives particular attention to the Manghit component in the formation of the Nogai Horde, illustrating how a powerful political group could provide the nucleus for a new ulus while operating within the broader Jochid political tradition.

Urban centers were essential to the functioning of this steppe empire. Sarai served as the political center of the western Jochid realm, while Syganak played a comparable role in the eastern steppe. Cities supported trade, craft production, coinage and fiscal administration. The coexistence of mobile ruling courts with permanent urban centers is therefore an important feature of Golden Horde statehood. It complicates any simple opposition between 'nomadic' and 'sedentary' government and demonstrates the capacity of the ulus system to incorporate different economic and social environments.

Urbanization in the Jochid realm should therefore be interpreted as part of state practice rather than as a process external to nomadic politics. Capitals and regional cities concentrated craftsmen, merchants, mints and officials, while the steppe supplied military manpower, livestock and routes of seasonal movement. The interaction of these environments gave the ruling elite access to resources that no single economic zone could provide. Sarai and Syganak were important not because they transformed the Golden Horde into a sedentary monarchy, but because they anchored administrative and commercial functions within a political system that remained closely connected to mobile elites.

The eastern Jochid space is especially significant in this respect. Ak Orda combined the political traditions of the Jochid ulus with control over the Syr Darya zone, where cities connected steppe routes with agricultural and commercial regions. The growing importance of Syganak illustrates a broader tendency toward the concentration of political and fiscal functions around strategic urban centers. At the same time, the continued importance of dynastic appanages and mobile military forces shows that urban development supplemented rather than displaced the institutional logic of the steppe [7, p. 9].

Law and taxation were essential components of this system. The research treats the 'Great Yassa' as the normative legacy associated with Chinggis Khan and notes its role in state, administrative, criminal, judicial and fiscal regulation. Although the original text has not survived in a complete form, the legal tradition attributed to the Yassa remained politically significant. Fiscal practices included several forms of levy and customs payment, and taxation was closely connected with administrative control over subject populations and trade routes. With the Islamization of the Golden Horde, Islamic norms increasingly supplemented earlier legal practices rather than immediately eliminating them [8, p. 136].

Fiscal obligations linked dependent populations and regions to the ruling center. The research lists taxes and duties such as kopchur, kharaj, taghar, shygyn and customs dues, which reflected different economic activities and forms of obligation. Collection was carried out through officials, including basqaqs in territories subject to the khan. The census undertaken under Berke in 1257 is presented as part of a fiscal reform designed to register taxable populations and property. Such measures indicate that taxation was not merely episodic extraction but required administrative information and specialized agents [3, p. 55].

Communication infrastructure supported this fiscal and political system. The station network and the use of paizas allowed authorized representatives to travel, requisition resources and demonstrate their official status. Initially such privileges were closely associated with high officials and members of the

Chinggisid house, but the system became more regularized during the thirteenth century. In institutional terms, this network connected distant parts of the realm and reduced the practical problems created by the enormous scale of the Golden Horde. Administrative integration thus depended on mobility and communication as much as on territorial division [9, p. 19].

The Great Yassa, considered in the study as a body of norms associated with Chinggis Khan, regulated aspects of state, administrative, criminal, judicial and military life. Although its complete original text has not survived, the concept of Yassa remained politically significant as a symbol of the Chinggisid order. The continued use of customary and imperial norms was later accompanied by the growing authority of Islamic law. Under Uzbek Khan, Islam became the state religion of the Golden Horde, strengthening the institutional position of Sharia while customary law continued to operate in practice [8, p. 136].

This legal plurality was not necessarily contradictory. Different normative systems could apply to different spheres, communities or political situations. Chinggisid rules were closely connected with dynastic authority, military discipline and administrative tradition, while Islamic jurisprudence increasingly structured religious, family, property and judicial relations. The coexistence of these norms created a flexible legal environment capable of adapting to the heterogeneous population of the Golden Horde.

The administrative significance of this legal plurality becomes clearer when fiscal and communication practices are considered together. Tax collection required information about populations, property and productive resources, while the station network enabled officials to move across long distances and transmit orders. These mechanisms transformed political authority into routine administration: the khan's power was reproduced through registration, collection, credentials and mobility rather than through military coercion alone [9, p. 19].

The Golden Horde therefore combined several levels of integration. Dynastic legitimacy defined the apex of power; the ulus and military hierarchy organized elites and armed forces; fiscal institutions connected subject populations to the center; and urban centers linked political authority with trade and monetary circulation. This combination explains how a polity with a mobile court could nevertheless sustain durable control over heterogeneous steppe, agricultural and commercial regions.

The Chagatai Ulus inherited the same broad imperial foundations but developed under different social and regional conditions. Its territory extended from the southern Altai and Eastern Turkestan toward Transoxiana. Almaliq functioned as an important center. A major stage of administrative development is associated with Kebek Khan, whose reforms reorganized taxable territory into smaller administrative units and strengthened monetary circulation. The use of coinage and territorially defined fiscal units reflected the growing importance of settled regions and urban-economic relations within a polity whose ruling elite remained deeply connected to the steppe [4, p. 77].

The reforms of Kebek Khan represent one of the clearest attempts to adapt inherited institutions to the needs of territorial and fiscal government. According to the research, the territory was divided into smaller tax-paying administrative units identified as tumens and governed by Turkic-Mongol nobles. Kebek also introduced coinage that became associated with his name. These measures connected fiscal administration, territorial organization and monetary circulation, demonstrating that the Chagatai state was developing mechanisms of government that extended beyond purely tribal or military relations.

The limits of these reforms became visible after the weakening of central Chagatai authority. Competition among emirs and the divergent interests of nomadic and sedentary regions contributed to the separation of the eastern and western parts of the ulus. Nevertheless, the administrative experience of the Chagatai period did not disappear. Political actors in both Moghulistan and Transoxiana continued to use the titles, military structures and dynastic principles inherited from the earlier state. Fragmentation therefore produced institutional recombination rather than a complete beginning from zero.

The Chagatai experience also reveals the limits of administrative reform when political authority remained dependent on competing regional elites. Kebek's measures strengthened fiscal and territorial organization, but they could not permanently resolve the structural tension between the settled centers of Transoxiana and the nomadic aristocracies of the eastern ulus. The subsequent division of the political space was therefore not simply the result of personal rivalry. It reflected different economic environments and different expectations about the distribution of power, taxation and military leadership. The survival of Chagatai titles and dynastic claims after fragmentation shows that political division could coexist with institutional continuity [4, p. 77].

Moghulistan inherited the eastern side of this problem. Its rulers operated in a political landscape where tribal leaders controlled significant military resources, while the Chinggisid dynasty retained the strongest recognized claim to khanal legitimacy. The elevation of Tughluq-Temur with the support of the Dulat emir Bulatshi illustrates how these two principles could be combined. Rather than treating the emir's influence as evidence that the khanate lacked institutions, it is more accurate to see the arrangement as a specific distribution of functions: the dynasty supplied legitimacy, while leading emirs provided the regional and military infrastructure of rule [10, p. 156].

The fragmentation of the Chagatai realm produced different political trajectories in its eastern and western parts. In the east, Moghulistan emerged in the mid-fourteenth century under Chagatai dynastic legitimacy, with a political structure strongly influenced by powerful tribal elites. In Transoxiana, by contrast,

effective power increasingly passed to Turkic-Mongol amirs and begs. This divergence demonstrates that the common Chinggisid institutional heritage could be adapted to different balances between dynastic authority, tribal aristocracy, military elites and settled administrative traditions.

Moghulistan emerged in 1347-1348 in the eastern part of the former Chagatai political space. The Dulat emir Bulatshi played a decisive role in elevating Tughluq-Temur, a descendant of Chagatai, to the khanate. This episode demonstrates a characteristic division of political functions: powerful tribal emirs possessed the military and regional resources needed to shape political outcomes, yet Chinggisid descent remained necessary for the formal legitimacy of the khan.

The resulting system combined dynastic monarchy with the substantial influence of tribal aristocracies. The khan could pursue campaigns and attempt to strengthen central authority, but his capacity depended on the support of major emirs. Tughluq-Temur's campaigns into Transoxiana illustrate how external expansion could also serve internal political consolidation by attracting the support of nomadic elites. At the same time, repeated conflicts among emirs reveal the limits of centralization in a political environment where regional power remained strong [10, p. 156].

Moghulistan is therefore important for understanding institutional continuity in eastern Kazakhstan and Zhetysu. Its political organization preserved the Chagatai dynastic principle and ulus traditions while adapting them to a new balance among regional groups. The state also formed part of the political environment in which later rulers and tribal groupings of the Kazakh steppe developed. The significance of Moghulistan lies not in a direct institutional identity with later states but in the preservation and transformation of political practices within the same broad regional space.

The political structure of Moghulistan also demonstrates that decentralization did not necessarily mean the absence of state institutions. The authority of the khan was constrained by powerful emirs, yet succession, military mobilization and external policy continued to be framed through the Chagatai dynastic tradition. The relationship between khan and emir was therefore institutional rather than accidental: legitimacy and effective power were distributed between actors who depended on one another for political stability.

This balance distinguished Moghulistan from both the more urbanized western Chagatai territories and the later Timurid model. In Zhetysu and Eastern Turkestan, regional aristocracies retained substantial military resources, so centralization proceeded through negotiation and coalition. The persistence of a recognized Chinggisid khan nevertheless supplied a common political framework within which competing groups could claim offices, territories and authority.

The state of Timur represented another form of institutional synthesis. Timur did not belong to the Chinggisid dynasty and therefore relied on a complex political language of legitimacy. He used the titles amir and guragan, maintained formal recognition of Chinggisid khans and issued decrees within a framework that preserved the symbolic supremacy of the house of Chinggis Khan. His seal, emblem and motto served as instruments of sovereign representation, while central administration included the divan-i a'la and divan-i buzurg, which performed differentiated administrative and judicial functions [11, p. 51].

Central administration under Timur included two principal divans. The divan-i a'la functioned as a broad administrative institution, while the divan-i buzurg appears in the research as a tribunal particularly associated with Chagatai emirs. Timur also altered the distribution of provinces among powerful tribal leaders and restored forms of appanage administration connected with members of the ruling house. These measures strengthened the ruler's control over regional elites while retaining recognizable elements of earlier Central Asian political organization [12, p. 56].

Symbols of authority formed another important part of Timurid government. Timur possessed an emblem, seals and a political motto, and documentary authentication relied on seals in accordance with established practices of Muslim courts. Such symbols were not merely ceremonial. They connected the ruler's personal authority with the administrative circulation of commands, appointments and fiscal obligations. In this respect, the Timurid state combined steppe traditions of tamga and dynastic legitimacy with the documentary culture of the Islamic urban world.

The importance of political symbolism was particularly acute for Timur because his authority did not rest on direct Chinggisid descent. Titles, seals, dynastic marriage and the formal presence of Chinggisid khans allowed effective power to be expressed within a political vocabulary that remained intelligible to the steppe aristocracy. These devices did not conceal the reality of Timur's rule; they helped translate that rule into accepted forms. The result was a distinction between effective sovereignty and dynastic legitimacy, a distinction that demonstrates the continuing normative strength of the Chinggisid political tradition even under a ruler whose military authority was personal and overwhelming.

The same logic can be observed in central administration. The divan-i a'la and divan-i buzurg represented differentiated functions within the state, while the distribution of provinces and military commands remained connected to the political status of the ruling family and Chagatai elites. Centralization thus worked through selective preservation: institutions useful for mobilization, elite management and documentary authority were retained, but their relationship to the ruler was tightened. This explains why the Timurid system appears simultaneously traditional and innovative. Its institutional novelty lay less in creating entirely new offices than in combining existing steppe and Islamic administrative practices within a more concentrated structure of command [12, p. 56].

Military organization under Timur also retained the decimal and ulus-based legacy of the Mongol period. The army was divided into tumens, thousands, hundreds and tens, and tribal military formations remained important. At the same time, Timur's state mobilized the resources of settled territories and incorporated infantry, specialists, intelligence networks and logistical structures. This combination of steppe military organization and developed administrative control contributed to the strength of the Timurid political system.

The effectiveness of Timurid military administration also depended on logistics, intelligence and discipline. The research describes detailed requirements concerning provisions, weapons, additional horses, tents and tools carried by soldiers. Heralds transmitted mobilization orders, while commanders and individual soldiers had defined positions in campaign and battle formations. Reconnaissance and guides were treated as specialized functions. Such evidence shows that the military character of the state involved complex administration rather than only battlefield leadership [13, p. 87].

One of the most significant transformations concerned the relationship between customary Mongol law and Islamic law. Timurid chronicles often portrayed Timur as a ruler devoted to Islam and Sharia. However, the evidence discussed in the research suggests a more complex picture. Mongol legal and political traditions continued to operate alongside Islamic norms throughout Timur's reign. His recognition of Chinggisid khans, the organization of administration and the army, the form of decrees and the inscriptions on coins all indicate that Chinggisid political legality remained relevant. Contemporary and later Muslim critics even accused Timur of placing the tore, the inherited Mongol customary order, above Sharia in certain contexts [14, p. 477].

The tension between tore and Sharia is especially revealing. Contemporary and later Muslim writers could criticize Timur for placing Mongol custom above Islamic norms, while Timurid court historiography stressed his religious legitimacy. V.V. Bartold, as cited in the research, treated the image of Timur's piety in court histories with caution. The institutional evidence likewise suggests coexistence rather than replacement: administrative and military organization retained Mongol features even as Islamic law expanded its authority.

The legal interaction also had a political dimension. Sharia strengthened the ideological connection between the ruler and the Muslim populations of cities and agricultural regions, whereas tore preserved continuity with the military aristocracy and the political culture of the steppe. Timur's government had reasons to employ both. A purely religious legal order would not have erased the expectations of Chagatai military elites, while exclusive reliance on steppe custom would have been insufficient for governing major Islamic urban centers. The coexistence of the two traditions was therefore closely related to the social and territorial composition of the state [15, p. 89].

The coexistence of steppe and Islamic norms was reinforced by the social composition of the Timurid state. Military elites derived status from traditions of service, hierarchy and Chagatai political culture, while urban populations and religious institutions operated within an increasingly developed Islamic legal environment. A stable government therefore had to communicate with both normative worlds. The resulting order was not a temporary compromise but a practical mechanism for governing populations with different legal expectations.

Timur's central institutions also reveal the relationship between conquest and administration. The divans, provincial arrangements, seals and military command structure converted personal authority into differentiated governmental functions. In this respect, centralization did not require the elimination of inherited institutions; it depended on their reorganization around the ruler and the ruling house. The Timurid state thus illustrates how Mongol political forms could be incorporated into a more concentrated administrative system [12, p. 56].

Military organization provides the clearest example of this transformation. The decimal hierarchy remained recognizable, but mobilization also depended on logistics, reconnaissance, specialized personnel and resources drawn from settled territories. The army was consequently both a continuation of steppe military organization and an instrument of a territorial empire whose campaigns required complex administrative preparation [13, p. 87].

A comparison of the Golden Horde, Chagatai Ulus, Moghulistan and Timurid state reveals several common features. First, military organization remained closely connected with territorial administration. Second, political legitimacy continued to be shaped by Chinggisid concepts even where actual power was exercised by non-Chinggisid elites. Third, taxation and control of trade were indispensable instruments of government. Fourth, the expansion of Islam modified the legal order but did not instantly erase the earlier normative system. Finally, the growing role of cities, coinage, written decrees and administrative offices demonstrates that these states cannot be reduced to purely nomadic political structures.

The comparison shows that institutional continuity operated through functions rather than through unchanged forms. A tumen could serve primarily as a military unit in one context and acquire fiscal-territorial significance in another; dynastic legitimacy could be exercised directly by a Chinggisid khan or preserved symbolically under a non-Chinggisid ruler; and urban centers could complement rather than replace mobile political structures. Continuity should therefore be understood as the repeated adaptation of familiar political technologies to new balances of power.

The fiscal dimension is equally important. Across the states considered here, stable rule required mechanisms for defining obligations, collecting revenue and controlling trade. The specific taxes and administrative agents varied, but the underlying problem remained the same: rulers had to transform access to people, herds, land and commerce into predictable resources. Fiscal administration therefore provides one of the strongest links between military organization and territorial government.

Finally, the evolution of legal institutions demonstrates that political change was cumulative. The expansion of Sharia did not simply replace the Yassa or customary steppe norms; instead, rulers and communities drew on different normative traditions according to political, social and judicial needs. This layered legal environment helps explain why Mongol-derived institutions remained visible even in states whose public ideology and urban administration were increasingly Islamic [15, p. 89].

There were also important differences. In the Golden Horde, Chinggisid khans directly embodied supreme dynastic legitimacy, whereas Timur exercised effective sovereignty without claiming descent from Chinggis Khan. Moghulistan depended more visibly on the political weight of tribal emirs, while the Timurid state developed a more concentrated central administration around the ruler and his divans. The Chagatai reforms under Kebek reveal a stronger emphasis on territorial-fiscal reorganization, while the Jochid realm's right-left wing structure reflected its particular dynastic and military geography.

These differences also affected the relationship between center and region. In the Golden Horde, territorial organization developed within a ruling dynasty that directly occupied the khanal throne. In Moghulistan, the khan's authority was mediated more strongly by tribal emirs, whereas Timur concentrated effective power in his own hands while preserving Chinggisid forms of legitimacy. The comparison therefore suggests that the decisive variable was not whether a state possessed uluses, military elites or Islamic institutions, but how these elements were arranged within the hierarchy of power.

The role of cities likewise varied without producing a simple contrast between nomadic and sedentary states. Sarai, Syganak, Almaliq and the urban centers of Transoxiana performed different political functions, but in each case cities provided resources that complemented steppe forms of rule: mints, markets, craft production, documentary administration and access to agricultural revenue. The political systems examined here were consequently based on interaction between ecological and economic zones rather than on the dominance of only one way of life.

From this perspective, the development of statehood in the thirteenth-fifteenth centuries appears as a process of institutional selection. Rulers retained practices that continued to solve problems of legitimacy, mobilization, taxation and territorial control, modified those that no longer corresponded to changing conditions, and incorporated Islamic legal and administrative mechanisms where they increased governing capacity. Such an approach makes it possible to explain both the strong family resemblance among the post-Mongol states and the substantial differences in their political organization.

The comparison also demonstrates that state formation in the medieval steppe was not incompatible with institutional complexity. Mobile courts, tribal military units and seasonal movement existed alongside taxation, written decrees, diplomatic missions, urban capitals, coinage and judicial structures. The evidence used in the research therefore challenges interpretations that treat nomadic political organization as inherently temporary or administratively undeveloped. The states considered here maintained authority over extensive territories precisely because they combined flexible steppe mechanisms with the administrative resources of towns and settled regions.

For the history of Kazakhstan, the most significant result is the persistence of political structures within the territories where later Kazakh statehood developed. Ak Orda, the eastern Jochid space, Moghulistan and neighboring Timurid domains formed a connected political environment rather than isolated worlds. Their institutions contributed to traditions of rulership, territorial organization, military mobilization and legal regulation that remained relevant during the transition to the political formations of the fifteenth century. The institutional perspective is especially useful for interpreting the transition toward the political formations of the fifteenth century. It avoids treating each dynastic change as a complete rupture and instead asks which mechanisms of rule remained available to new elites. Control of ulus territories, the mobilization of tribal forces, access to Syr Darya cities and recognition of legitimate descent continued to shape political competition. The later consolidation of power in the Kazakh steppe therefore occurred within a political environment already structured by several centuries of post-Mongol institutional development.

At the same time, continuity should not be confused with direct institutional identity. The Golden Horde, Ak Orda, Moghulistan and the Timurid state differed in territorial scale, social composition and the balance between dynastic rulers and military elites. Their significance lies in the repertoire of political practices they transmitted: forms of territorial allocation, military hierarchy, fiscal obligation, diplomatic representation and legal legitimation. These practices could be recombined by later rulers according to new political circumstances.

This approach also clarifies the role of regional diversity. Eastern Desht-i Qipchaq, Zhetysu, Eastern Turkestan and Transoxiana were connected through warfare, migration, trade and dynastic politics, but they did not develop identical administrative systems. Institutional continuity therefore operated across a network of neighboring political spaces. Similar concepts could acquire different functions depending on the strength of urban centers, the organization of tribal elites and the ruler's access to fiscal resources. The overall

pattern is one of adaptation within continuity. Military institutions provided an enduring framework for mobilization, while fiscal and urban mechanisms increased the capacity of rulers to govern complex territories. Dynastic traditions supplied legitimacy, and Islamic law gradually expanded the normative resources available to states. The interaction of these elements, rather than any single institution, explains the resilience of political organization in the region during the thirteenth-fifteenth centuries.

Conclusion. The state and legal systems that developed in the territory of Kazakhstan and adjacent Central Asian regions during the thirteenth–fifteenth centuries were products of both continuity and transformation. The political fragmentation of the Mongol Empire created separate states, but many fundamental institutions survived: dynastic legitimacy, ulus organization, military hierarchy, administrative officials, fiscal mechanisms, ruler's decrees and symbols of authority. These institutions were modified according to local political, economic and religious conditions.

The analysis confirms that the thirteenth to fifteenth centuries should be viewed as a period of institutional differentiation within a common post-Mongol political framework. The collapse of imperial unity produced new states, but their rulers continued to employ inherited mechanisms of administration and legitimacy. Changes in territory and dynasty therefore coexisted with continuity in the practical technologies of government. At the same time, continuity did not mean institutional immobility. Fiscal reforms, the growth of urban political centers, independent coinage, the strengthening of regional elites and the expansion of Islamic law changed the content of government. The history of these states is consequently best interpreted through the interaction of inherited structures and regional adaptation rather than through a simple opposition between 'Mongol' and 'Islamic' models.

In the Golden Horde and its eastern political space, the military-administrative model of the Jochid ulus became the basis for durable territorial and political structures. In the Chagatai realm and Moghulistan, the same heritage was reshaped by the relationship between Chinggisid rulers and tribal elites and by the increasing significance of settled regions. Timur's state preserved key elements of Mongol political organization while developing a more complex central administration and actively employing Islamic forms of legitimacy. The legal development of the period is best understood as a gradual interaction between the normative legacy associated with the Yassa and the expanding authority of Sharia. This institutional synthesis formed an important part of the political experience of the steppe and Central Asia. In this sense, the thirteenth–fifteenth centuries constituted a major stage in the evolution of statehood preceding the establishment of the Kazakh Khanate in the second half of the fifteenth century.

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

REFERENCES:

1 **Bartold V.V. Turkestan v e'pohu mongol'skogo nashestviya** [Turkestan in the era of the Mongol invasion]. Collected Works, vol. 1. Moscow, 1960, 760 p. (In Russian)

2 **Grekov B.D., Yakubovskij A.Yu. Zolotaya Orda i ee padenie** [The Golden Horde and its fall]. Moscow, 1950, 479 p. (In Russian)

3 **Fedorov-Davydov G.A. Obshhestvenny'j stroj Zolotoj Ordy'** [The social structure of the Golden Horde]. Moscow, 1973, 180 p. (In Russian)

4 **Sultanov T.I. Podnyaty'e na beloj koshme. Potomki Chingis-hana** [Raised on the white felt: Descendants of Chinggis Khan]. Almaty, Dajk-Press, 2001, 276 p. (In Russian)

5 **Abil E.A. Istoriya gosudarstva i prava Kazahstana** [History of the state and law of Kazakhstan]. Karaganda, Uchebnaya kniga, 2005, 256 p. (In Russian)

6 **Kulikov B.E. E'tnicheskij sostav Desht-i Kipchaka** [Ethnic composition of Desht-i Kipchak]. *Vestnik KazNU. Seriya Vostokovedeniya*, 1999, no. 9, pp. 139-141. (In Russian)

7 **Maihiev D. Kazak handygynyn negizi – Ak Orda: kuryluy men nygaiuy** [Ak Orda as the foundation of the Kazakh Khanate: formation and consolidation]. *Kazak tarihy*, 2006, no. 4, pp. 7-10. (In Kazakh)

8 **Kazakstan tarihy (kone zamannan buginge dejin)** [History of Kazakhstan from ancient times to the present]. Vol. 3, Almaty: Atamura, 1998, 637 p. (In Kazakh)

9 **Teleuova E. Kazaktyn kukyktyk negizderinin tarikhi bastaulary** [Historical origins of Kazakh legal foundations]. *Kazak tarihy*, 2006, no. 1, pp. 19-24. (In Kazakh)

10 **Klyashtornyj S.G., Sultanov T.I. Gosudarstva i narody' Evrazijskih stepej** [States and peoples of the Eurasian steppes]. Saint Petersburg, Peterburgskoe Vostokovedenie, 2004, 362 p. (In Russian)

11 **Panov V.A. Tamerlan (Avtobiografiya. Ulozhenie)** [Tamerlane: Autobiography. Code]. Moscow, Eksmo, 2007, 512 p. (In Russian)

12 **Sultanov T.I. Temir zhane onyn imperiyasy** [Timur and his empire]. Almaty, Mektep, 2007, 147 p. (In Kazakh)

13 **Abd ar-Razzak Samarkandi. Matla‘ as-sa‘dajn va madzhma‘ al-bahrajn** [The Rise of the Two Auspicious Stars and the Confluence of the Two Seas]. Materialy' po istorii kirgizov i Kirgizii, iss. 1, Moscow, 1973, pp. 150-170. (In Russian)

14 **Bartold V.V. Dvenadcat' lekcij po istorii tureckih narodov Srednej Azii** [Twelve lectures on the history of the turkic peoples of Central Asia]. Sochineniya, vol. V. Raboty' po istorii i filologii tyurkskih i mongol'skih narodov, Moscow, Nauka, 1968, pp. 19-192. (In Russian)

15 **Oserbaev N.O., Kopabaev O.K. Musylman kukygy** [Muslim law]. Almaty, Zheti Zhargy, 1998. (In Kazakh)

Received: 03 August 2026. **Accepted:** 27 August 2026. **Published:** 30 September 2026.

Information about the authors:

Berdyguzhin Leskali Bazargaliyevich – Doctor of Historical Sciences, Associate Professor, Department of history of Kazakhstan, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Republic of Kazakhstan, 060000, Atyrau, 1 Studencheskiy Ave., e-mail: berdyguzhina@mail.ru.

Yessenbetova Ainagul Meirambekovna – Candidate of Historical Sciences, Associate Professor, K. Zhubanov Aktobe Regional University, Republic of Kazakhstan, 030000, Aktobe, 34 A. Moldagulova Ave., e-mail: aikami@mail.ru.*

Бердыгужин Лескали Базаргалиевич – тарих ғылымдарының докторы, қауымдастырылған профессор, Қазақстан тарихы кафедрасы, Х. Досмұхамедұлы атындағы Атырау университеті, Қазақстан Республикасы, 060000 Атырау қ., Студенттер даңғ. 1, e-mail: berdyguzhina@mail.ru.

Еспенбетова Айнагул Мейрамбекқызы – тарих ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, 030000 Ақтөбе қ., Ә. Молдағұлова даңғ. 34, e-mail: aikami@mail.ru.*

Бердыгужин Лескали Базаргалиевич – доктор исторических наук, ассоциированный профессор, кафедра истории Казахстана, Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, г. Атырау, Республика Казахстан, 060000 Атырау, просп. Студенческий 1, e-mail: berdyguzhina@mail.ru.

Еспенбетова Айнагул Мейрамбековна – кандидат исторических наук, доцент, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Республика Казахстан, 030000 г. Актобе, просп. А. Молдагуловой 34, e-mail: aikami@mail.ru.*

ХҒТАР 76.01.09
ӘОЖ 070:94(574.12)
https://doi.org/10.52269/SEPT2631271

ТОРҒАЙ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ДЕНСАУЛЫҚ САҚТАУ ІСІНІҢ «ТУРГАЙСКАЯ ГАЗЕТА» МАТЕРИАЛДАРЫНДА ДЕРЕКТЕЛУІ (XIX Ғ. СОҢЫ – XX Ғ. БАСЫ)

Исенов Ө.И. – тарих ғылымдарының кандидаты, Қазақстан тарихы кафедрасының профессоры, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

Ихсан Д.Ө. – 2-курс магистранты, «7М01601 – Тарих» ББББ, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Джумашев А.М. – тарих ғылымдарының докторы, профессор, Өзбекстан Республикасы Ғылым академиясы Қарақалпақстан бөлімінің Қарақалпақ гуманитарлық ғылымдар ғылыми-зерттеу институты тарих бөлімінің меңгерушісі, Нүкіс қ., Қарақалпақстан, Өзбекстан Республикасы.

Мақалада XIX ғасырдың соңы мен XX ғасырдың басындағы Торғай облысындағы денсаулық сақтау жүйесінің қалыптасу ерекшеліктері, санитарлық саясаттың бағыттары мен індеттерге қарсы күрес шаралары «Тургайская газета» (1895–1910 жж.) материалдары негізінде кешенді деректанулық тұрғыда қарастырылған. Зерттеудің мақсаты – өңірдегі негізгі ресми мерзімді басылым деректері арқылы Торғай облысындағы емдеу ісінің жай-күйін, медициналық инфрақұрылымның құрылуын және дәстүрлі емшілік пен еуропалық медицинаның арақатынасын айқындау болып табылады. Зерттеу міндеттері: басылым беттеріндегі денсаулық сақтау тақырыбындағы нормативтік және есептік құжаттарды жүйелеу; шешек, оба, тырысқақ індеттерінің таралуын саралау; Орынбор фельдшерлік мектебінің алғашқы қазақ мамандарын даярлаудағы рөлін анықтау; Ақтөбе және Қостанай уездерінің 1-ші және 3-ші дәрігерлік учаскелерінің тыныс-тіршілігіне талдау жасау. Газет мәліметтері мен ҚР Орталық мемлекеттік архивінің деректері негізінде өлкедегі медициналық желінің халық мүддесінен гөрі, империяның әскери қауіпсіздігі мен «санитарлық қалқан» құру мақсатына бағындырылғаны дәлелденген. 46 мыңнан астам тұрғыны бар Қостанай уезінің 3-дәрігерлік учаскесі мысалында өлкедегі дәрігерлік кадр тапшылығы көрсетілген. Мерзімдік басылым бетіндегі жас ағартушы Ахмет Байтұрсынұлының 1896 жылғы куәгерлік жазбасы арқылы

қазақ халқының кәсіби медицинаға зор ықылас танытқаны анықталған. «Тургайская газета» басылымында жарияланған этномедициналық зерттеулерге талдау жасалып, қазақтың халықтық емдомының (шұжыққа түсіру, мыңдуан шөбі, бас уқалау) ғылыми медицинамен (А. Паре, Н. Пирогов хирургиясы) сабақтастырылғаны анықталды. Түйіндей келгенде, «Тургайская газетаның» өлке тарихын зерделеудегі деректік маңызы тұжырымдалған.

Түйінді сөздер: *Торғай облысы, «Тургайская газета», денсаулық сақтау ісі, медицина тарихы, індеттермен күрес, дәрігерлік учаскелер, Ахмет Байтұрсынұлы.*

ОТРАЖЕНИЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ ТУРГАЙСКОЙ ОБЛАСТИ В МАТЕРИАЛАХ «ТУРГАЙСКОЙ ГАЗЕТЫ» (КОНЕЦ XIX – НАЧАЛО XX В.)

Исенов О.И. – кандидат исторических наук, профессор кафедры истории Казахстана, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.*

Ихсан Д.О. – магистрант 2-го курса, ОП «7М01601 – История», Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.

Джумашев А.М. – доктор исторических наук, профессор, заведующий отделом истории Каракалпакского научно-исследовательского института гуманитарных наук Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан, г. Нукус, Каракалпакстан, Республика Узбекистан.

В статье на основе комплексного источниковедческого анализа материалов «Тургайской газеты» (1895–1910 гг.) раскрыты особенности формирования системы здравоохранения, направления санитарной политики и меры борьбы с эпидемиями в Тургайской области в конце XIX – начале XX вв. Цель исследования заключается в выявлении состояния лечебного дела, становления медицинской инфраструктуры и взаимоотношений традиционной народной и европейской медицины в Тургайской области через призму публикаций официального периодического издания края. Задачи: систематизировать нормативные и отчетные медицинские материалы на страницах газеты; охарактеризовать динамику распространения оспы, чумы и холеры; определить роль Оренбургской фельдшерской школы в подготовке первых казахских кадров; проанализировать деятельность 1-го Актюбинского и 3-го Кустанайского врачебных участков. На основе газетных материалов и документов Центрального государственного архива РК доказано, что развитие медицины подчинялось прагматичным целям империи по созданию «санитарного щита» и обеспечению военной безопасности. На примере 3-го участка Кустанайского уезда с населением более 46 тыс. человек выявлен острый дефицит врачебных кадров, вследствие которого основная нагрузка была возложена на фельдшеров. Опровергнут колониальный стереотип о недоверии казахов к медицине посредством анализа корреспонденции Ахмета Байтурсынова 1896 года, доказавшей высокую востребованность врачебной помощи в аулах. Продемонстрирован научный интерес врачей к казахскому традиционному врачеванию (потогонное обертывание в теплую шкуру, белена, массаж головы) в сопоставлении с хирургическими принципами А. Паре и Н.И. Пирогова. Сделан вывод о первостепенной ценности «Тургайской газеты» как исторического источника.

Ключевые слова: *Тургайская область, «Тургайская газета», здравоохранение, история медицины, борьба с эпидемиями, врачебные участки, Ахмет Байтурсынов.*

HEALTHCARE IN THE TURGAY REGION AS DOCUMENTED IN THE TURGAYSKAYA GAZETA (LATE XIX – EARLY XX CENTURY)

Issenov O.I. – Candidate of Historical Sciences, Professor of the Department of history of Kazakhstan, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

Ikhsan D.O. – Second-year Master's student, "7M01601 – History" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Djumashev A.M. – Doctor of Historical Sciences, Professor, Head of the Department of history, Karakalpak Research Institute of Humanities, Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Nukus, Karakalpakstan, Republic of Uzbekistan.

The article reveals the features of the formation of the healthcare system, the directions of sanitary policy, and epidemic control measures in the Turgay region in the late 19th and early 20th centuries, based on a comprehensive source-critical analysis of the materials of the Turgayskaya Gazeta (1895–1910). The purpose of the study is to determine the state of medical care, the development of regional medical infrastructure, and the relationship between traditional Kazakh healing and European medicine through the publications of the region's main official newspaper. Research tasks: to systematize regulatory and statistical medical documents in the newspaper; to analyze the spread of smallpox, plague, and cholera epidemics; to trace the training of the first Kazakh medical personnel at the Orenburg Feldsher School; and to examine the practical activities of the 1st Aktobe and 3rd Kustanay medical districts. Based on newspaper materials and

archival records of the Central State Archive of the Republic of Kazakhstan, it is proved that the regional health network was primarily oriented towards imperial security and establishing a "sanitary cordon" rather than civilian needs. The acute shortage of physicians is revealed through the example of the 3rd district of Kustanay uezd, where over 46,000 residents were served solely by a feldsher. The colonial stereotype regarding the nomads' alleged religious prejudice against medicine is refuted using the 1896 eyewitness report by the prominent Kazakh intellectual Akhmet Baitursynov. The paper highlights the intellectual dialogue between folk remedies (warm animal skin wrapping, henbane fumigation, head massage) and academic medicine (principles of A. Paré and N. Pirogov). It is concluded that Turgayskaya Gazeta is an indispensable historical source for studying regional medical history.

Keywords: *Turgay region, Turgayskaya Gazeta, healthcare, history of medicine, epidemic control, medical districts, Akhmet Baitursynov.*

Кіріспе. Ресей патша өкіметінің билігі кезеңіндегі қазақ даласының әлеуметтік тарихын, соның ішінде денсаулық сақтау ісі мен санитарлық ахуалын зерттеуде ресми мерзімді баспасөз – баға жетпес дереккөз болып табылады. Торғай облысында 1895–1910 жылдар аралығында шыққан «Тургайская газета» – осы өңірдегі жалғыз әрі негізгі ресми басылым болғандықтан, ондағы медицина тарихына қатысты мәліметтер әлі күнге дейін дербес деректанулық тұрғыда арнайы зерттелмеген.

Торғай облысындағы денсаулық сақтау ісінің қалыптасуы мен оның мерзімді баспасөз беттерінде көрініс табуы Отан тарихы ғылымында кезең-кезеңімен зерделеніп келе жатқан күрделі мәселелердің бірі. Бұл тақырыптың тарихнамалық кеңістігін шартты түрде революцияға дейінгі, кеңестік және қазіргі заманғы (тәуелсіздік кезеңі) зерттеулер деп үш кезеңге бөліп қарастыруға болады.

Бірінші кезеңді – XIX ғасырдың соңы мен XX ғасырдың басындағы қазан төңкерісіне дейінгі зерттеулер құрайды. Бұл кезеңде денсаулық сақтау мәселелері арнайы іргелі зерттеу нысаны болмағанымен, өлкедегі санитарлық жағдай, індеттердің таралуы (оба, шешек, тырысқақ) және медициналық пункттердің ашылуы туралы алғашқы деректер ведомстволық есептер мен статистикалық жинақтарда жарияланды. Атап айтқанда, Торғай облыстық статистикалық комитетінің еңбектерінде, сондайақ белгілі зерттеуші А.И. Добросмысловтың еңбектерінде Торғай даласындағы алғашқы емдеу орындарының құрылымы, дәрігерлік және фельдшерлік кадрлардың жетіспеушілігі туралы нақты сандық деректер кездеседі [1]. Сонымен қатар, Торғай облысында қызмет еткен әскери дәрігерлер мен санитарлық инспекторлардың (О.Э. Бетгер және т.б.) қызметтік жазбалары мен медициналық қоғам отырыстарындағы баяндамалары бұл кезеңнің құнды тарихнамалық бастауы болды.

Екінші кезең – Кеңестік дәуір тарихнамасы. Кеңестік кезеңдегі зерттеулерде патшалық Ресейдің шет аймақтардағы, соның ішінде Торғай облысындағы денсаулық сақтау саясаты көбінесе «отаршылдық сипатта болды», «халықтың денсаулығына көңіл бөлінбеді» деген таптық-идеологиялық тұрғыдан бағаланды. Дегенмен, бұл кезеңде орасан зор фактілік деректік материалдар жинақталып, ғылыми айналымға енгізілді. Қазақстандағы денсаулық сақтау ісі мен медицина тарихын жүйелеуге алғашқы кәсіби дәрігер-ғалымдар С.Д. Асфендиаров [2] пен Х. Досмұхамедовтың еңбектері атауға болды. Әсіресе, Х. Досмұхамедов өзінің практикалық дәрігерлік тәжірибесі мен ғылыми ізденістері негізінде жазылған «Как бороться с чумой среди киргизского народа» (1916 ж.) атты еңбегінде және 1920-жылдардағы санитарлық-гигиеналық зерттеулерінде далалық өлкенің індеттік жағдайы мен көшпелі халықтың тұрмыс-салт ерекшеліктерін алғаш рет терең ғылыми тұрғыдан қарастырды [3]. Бұл еңбектер патшалық әкімшіліктің ресми ақпараттарындағы олқылықтарды толықтырып, жергілікті халықтың шынайы санитарлық хал-ахуалын түсінуге жол ашты. Кеңестік дәуірдегі медицина тарихын жүйелеуде профессор Р.И. Самариннің зерттеуі айрықша орын алады. Дәрігер ғалым өзінің монографиясында қазақ даласындағы дәстүрлі халық емінің (қымызбен емдеу, емдік шөптер: қылша, қарамындыз, дәрмене) бай тәжірибесіне кеңінен тоқталып [4, 9 б.], сонымен бірге патшалық Ресей кезеңіндегі емдеу ісінің кенже қалуы халықтың сенімсіздігінен емес, ең алдымен медициналық көмекті ұйымдастырудың тым әлсіздігінен және оның ауылдарға жетпеуінен болғанын нақты тарихи деректермен дәлелдеген [4, 16 б.].

Үшінші кезеңді – Тәуелсіздік жылдарындағы және қазіргі заманғы зерттеулер қамтиды. 1991 жылдан кейін өлке тарихын, соның ішінде әлеуметтік инфрақұрылым мен медицина тарихын идеологиялық қысымсыз, жаңа методологиялық көзқарас тұрғысынан зерделеуге кеңінен жол ашылды. Ресей империясындағы денсаулық сақтау ісінің тарихын зерттеуші М.В. Поддубный және т.б. ғалымдар атап өткендей, XIX ғасырдың екінші жартысында қалыптасқан земстволық медицинаның басты қағидаттары – аймақтарды дәрігерлік учаскелерге бөлу, емдеу орындарын ашу, халыққа медициналық көмектің қолжетімділігі мен алдын алу (профилактикалық) бағытын қамтамасыз ету болды [5, 233–238 б.]. Қазақ даласында земство институттары ресми түрде енгізілмегенімен, осы учаскелік медицина жүйесінің элементтері XIX ғасырдың соңында Торғай облысында да қолданысқа ене бастады. Қазіргі зерттеулер көрсеткендей, қаржы тапшылығы мен әлеуметтік қиындықтарға қарамастан, Ресей империясы өлкеде медициналық жүйені қалыптастыру арқылы өз шекарасының қауіпсіздігін нығайтуды, жұқпалы індеттердің ішкі Ресейге таралуына тосқауыл қоюды және жаңа аумақты орталыққа социомәдени тұрғыдан интеграциялауды көздеді. Дәл осы себепті XIX ғасырдың соңында Торғай өлкесіндегі медициналық инфрақұрылымның қалыптасуы өте баяу жүріп, оған тек қауіпті індеттер төнген кезде ғана басымдық берілді.

Өңірлік деңгейде Торғай және Қостанай аймағының өткенін зерделеуде жергілікті тарихшылар мектебінің үлесі зор. Атап айтқанда, тарих ғылымдарының докторы Е.А. Әбілдің монографиялық зерттеулерінде XIX ғ. соңы мен XX ғ. басындағы Торғай өлкесіндегі әкімшілік-басқару жүйесі, отарлық саясаттың өңірдің әлеуметтік инфрақұрылымына тигізген әсері кеңінен талданды [6]. Қазіргі отандық тарихнамада аталған мәселенің арнайы зерттелуіне Г.К. Көккөзованың ғылыми ізденістері айтарлықтай серпін берді. Зерттеуші өзінің кандидаттық диссертациясында XIX ғасырдың соңы мен XX ғасырдың басындағы Қазақстандағы денсаулық сақтау жүйесінің қалыптасу кезеңдерін, алғашқы емдеу мекемелері мен дәріханалар желісінің ашылуын, өлкедегі медициналық кадрлардың жасақталу деңгейін кешенді түрде сараптады [7]. Сонымен қатар, «Тургайская газетаның» қоғамдық-саяси және ақпараттық кеңістіктегі рөлі отандық баспасөз тарихын зерттеушілер Y. Сұбханбердинаның тағы басқалардың тарапынан сөз болғанымен [8], мерзімдік басылымдағы денсаулық сақтау ісінің деректік көрінісі осы уақытқа дейін дербес зерттелмей келеді.

Мәселенің шетелдік тарихнамада зерделенуіне тоқталсақ, Ресей империясының ұлттық аймақтардағы медициналық саясаты мен дәстүрлі емшілік арақатынасы батыс ғалымдарының да назарынан тыс қалған жоқ. Атап айтқанда, американдық зерттеуші П. Майклс (Paula Michaels) өз монографиясында қазақ даласындағы дәстүрлі ем-дом (бақсылық, сыныкшылық, шөп емі) мен еуропалық медицинаның арасындағы күрделі мәдени диалогты, сондай-ақ империялық биліктің медицинаны өлкеге ықпал етудің идеологиялық құралы ретінде пайдаланғанын концептуалды тұрғыдан сараптады [9]. Ал британдық тарихшы Ш. Хензе (Charlotte E. Henze) империяның шығыс шекаралық аймақтарында індеттерге қарсы күрес шараларын талдай келе, патша әкімшілігінің орталық губернияларды сақтау мақсатында шет өлкелерде барьерлік (қорғаныстық – Ө.И., Д.И.) санитарлық саясат жүргізгенін алға тартады [10].

Бұл ғалымдардың еңбектерінде жалпыұлттық үдерістер жайы негізге алынғанымен, сол дәуірдің нақты айнасы болған «Тургайская газета» материалдары аясындағы аймақтық, атап айтқанда Ақтөбе және Қостанай уездерінің 1-ші және 3-ші дәрігерлік учаскелерінің тыныс-тіршілігі арнайы қарастырылмағандықтан, біздің мақаламыз сол ғылыми олқылықтардың орнын толтыруға бағытталады.

Мақсаты мен міндеттері. Зерттеудің мақсаты – «Тургайская газета» басылымының материалдары негізінде XIX ғасырдың соңы мен XX ғасырдың басындағы Торғай облысындағы денсаулық сақтау жүйесінің ахуалын, санитарлық саясаттың ерекшеліктері мен жұқпалы ауруларға қарсы күрес шараларын кешенді деректанулық тұрғыда зерделеу. Алға қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер айқындалды:

1. Мерзімдік басылым беттеріндегі денсаулық сақтау және санитария саласына қатысты жарияланымдардың сипаты мен тақырыптық бағыттарын жүйелеу;
2. Газет деректері негізінде өңірдегі қауіпті індеттердің (шешек, оба, тырысқақ) таралуын және патша әкімшілігінің карантиндік шараларын көрсету;
3. Емдеу мекемелері мен дәрігерлік-фельдшерлік кадрлармен қамтамасыз ету, соның ішінде Орынбор фельдшерлік мектебінің рөлін талдау;
4. Ақтөбе және Қостанай уездерінің 1-ші, 3-ші дәрігерлік учаскелерінің тыныс-тіршілігі мен мерзімдік басылымның қазақ арасындағы санитарлық-ағартушылық, этномедициналық рөлін айқындау.

Материалдар мен әдістер. Мақаланың негізгі деректік базасын 1895–1910 жылдар аралығында Орынбор қаласында жарық көрген Торғай облыстық басқармасының ресми басылымы – «Тургайская газета» тігінділері құрады. Басылым материалдары екі негізгі блок бойынша іріктелді:

1. Ресми бөлім материалдары: медициналық заңдар, генерал-губернатордың міндетті қаулылары, дәрігерлік бөлімнің есептері мен бұйрықтары;
2. Бейресми бөлім материалдары: жергілікті дәрігерлер мен тілшілердің хабарлары, гигиеналық нұсқаулықтар, індеттер барысы туралы жедел ақпараттар.

Газет деректерінің дәйектілігін тексеру үшін Қазақстан Республикасы Орталық мемлекеттік архивінің (ҚР ОМА) 15-қоры мен 25-қорының ресми іс-қағаздары және «Обзоры Тургайской области» атты жылдық статистикалық жинақтары пайдаланылды.

Мақаланы жазу барысында тарихи танымның объективтілік және жүйелілік қағидаттары сақтала отырып, деректанулық талдау (ішкі және сыртқы сын), контент-талдау (мәтіндік мазмұнды саралау), тарихи-салыстырмалы және тарихи-генетикалық әдістері қолданылды.

Нәтижелер. «Тургайская газета» (1895–1910 жж.) материалдарын кешенді деректанулық талдау нәтижесінде Торғай облысындағы денсаулық сақтау ісінің шынайы көрінісі бірнеше негізгі бағыт бойынша анықталды:

Газет нөмірлеріне контент-талдау жасау медициналық жарияланымдардың негізгі үш топқа бөлінетінін көрсетті: нормативтік-әкімшілік құжаттар (губернатордың міндетті қаулылары, кадрлық тағайындаулар); статистикалық-есептік мәліметтер (дәрігерлік инспектордың есептері, науқастар саны, шешекке қарсы егу қорытындылары); санитарлық-ағартушылық хабарлар (дәрігерлердің халыққа кеңестері, ауызсу мен тұрғын үй гигиенасы).

«Тургайская газетаның» 1896 жылғы № 35 санында «А. В.» жариялаған «Оренбургская фельдшерская школа при военном госпитале» атты мақала өлкедегі кәсіби медицина кадрларын қалыптастыруды айғақтайтын бірегей дереккөз болып табылады [11, 283 б.]. 1844 жылғы ереже бойынша Орынбор әскери госпиталі мектебінде қазақ балаларын оқытуға қазынадан жылына әр шәкіртке 55

рубльден бөлінген. Басты мақсат шешекке қарсы екпе салуды үйрету болғанымен, бастапқы шәкірттердің өлімінен соң генерал-губернатор А.А. Катениннің тұсында бұл қаржы кеңсе шенеуніктерінің жалақысына заңсыз аударылып кеткен [11, 283 б.]. Балаларды қабылдамас бұрын оларды 1,5 жыл тек орыс тіліне оқыту талап етілген [11, 284 б.]. Ал 1866 –1868 жылдары Троицк қалалық ауруханасында 3 жылдық медициналық курстар ұйымдастырылып, оған қабылданған қазақ балаларының ішінен Мұсабай Тұтаев пен Ысмағұл Бийтақов (Бийтасов) оқу озаты атанған [11, 284-б.]. Мектеп 1871 жылы жабылғанға дейінгі 27 жылда оны бар болғаны бес қазақ бітіріп шықты: Хамза Қаржасов, Мұсабай Тұтаев, Ысмағұл Бийтасов (Қостанай уезі), Тұрмұхаммед Ізбасқанов және Тұрмұхаммед Қозыев (Ақтөбе уезі) [11, 285 б.]. Бұл тізім аталған өңірлерден шыққан тұңғыш дипломды қазақ фельдшерлерінің нақты есімдерін ресми түрде бекітеді.

Тургайская газета» басылымының 1896 жылғы 21 ақпандағы № 60 санында жарық көрген Ақтөбе уезі, Бастамақ болысынан (бүгінде Ақтөбе облысы, Алға ауданына қарасты Бестамақ ауылы – Ө.И., Д.И.) жазылған хат – Торғай облысындағы емдеу ісі үшін айрықша эго-құжат болып табылады [12]. Жазба авторы – 24 жастағы жас ағартушы Ахмет Байтұрсынұлы болатын. Ол 1895 жылы әр 2 – 4 болысқа бір-бірден ашылған фельдшерлік пункттер реформасын қуанышпен қарсы алып: «Нельзя не отметить того отрадного явления в нашей степи, какое произвело учреждение фельдшерских пунктов... Киргиз давно нуждался в рациональной врачебной помощи...» [12] деп жазады. Ахмет Байтұрсынұлы «А. В.» атты автордың қазақтарды «діни наным салдарынан медицинадан қашты» деп айыптаған отаршылдық көзқарасын жоққа шығарып, халықтың дәстүрлі емшілерге баруын қала мен ауыл арасындағы орасан зор қашықтықтан туындаған шарасыздық [12] деп түсіндіреді. Оның үстіне, Бастамақ болысына фельдшер келген екі ай ішінде 200 адамның оған жүгінуі дала халқының ғылыми медицинаға зор ықыласын көрсетті [12]. Тіпті, басылым беттерінде көрініс тапқан осы қазақ фельдшерлері кейін қоғамдық-саяси үдерістерге белсене араласты. Мәселен, ҚР ОМА құжаттарында Қарқаралы уезінің фельдшері Тәтімбет Шыңғысовтың «саяси сенімсіз» тұлға ретінде айыпталып, Ахмет Байтұрсынұлымен бірге 1905 жылғы патшаға бағытталған атақты Қарқаралы петициясын ұйымдастыруға белсене қатысқаны хатталған [13, 122 п. арт.].

Басылымның 1896 жылғы №38 санындағы А. Жильцовтың очеркінде Торғай даласында 1000 шаршы шақырымға небәрі 1 дәрігердің бекітілгені, сондықтан қазақтардың бақсы-балгерлерге жүгінуге мәжбүр екені жазылады [14, 5 б.]. Очеркте бақсының «жын-ұрғанды» қобызбен, мұрындықпен емдеуі, өкпе құртын қарақалпақ емшілерінің қан алу («леняк») арқылы қарауы, әйелдер бедеулігін молдалардың дұғамен емдеуі сипатталады [14, 5;6 б.].

1898 жылы Ақтөбе уезіне көз ауруларымен (трахома) күресетін арнайы дәрігерлік отряд жіберілсе [15, 2 б.], осы жылғы көктемгі ауыр жұт пен күзгі астықтың шықпай қалу салдары Ырғыз уезі халқының ұзақ уақыт азық-түліктен жаппай тарығуына және індеттердің өршуіне алып келді [16, 3 б.]. Сонымен бірге, газеттің 1898 жылғы №49 санында Торғайда мал арасында аусылдың (ящур) өршуі дабыл қағылып көрсетілген [17, 2-б.]. Ал 1898 жылғы №50 санында жарияланған губернатордың ресми мәлімдемесінде Ырғыздағы жұттан болған адам өлімін дәрігерлік инспектордың мәйіттерді сою хаттамалары (протоколы вскрытия) арқылы тексеріп, «адам өлімі тікелей аштықтан болмаған» деп ресми қорытынды шығарғаны құжатталған [18, 2–3 бб.]. Бұл ресми мәлімдеме патшалық әкімшіліктің дағдарыс кезіндегі манипуляциялық сипатын және медициналық сараптаманы саяси жауапкершіліктен жалтару құралы ретінде пайдаланғанын айқын көрсетеді. Дәрігерлік инспектордың «өлім тікелей аштықтан болмаған» деген қорытындысы формальды сот-медициналық тәсілге ғана негізделген.

Шын мәнінде, ұзаққа созылған жұт пен азық тапшылығынан ағзасы әбден әлсіреген халықтың иммунитеті түсіп, жұқпалы індеттерге қарсы тұра алмағаны белгілі. Алайда, отарлық билік адамдардың иммундық әлсіреуінің бастапқы әрі негізгі себебі болған аштықты екінші орынға ысырып, өлімді тек жұқпалы дерттер мен аурулардың салдары ретінде тіркеуге тырысқан. Бұл губернаторлық аппараттың аймақтағы әлеуметтік апат пен адам шығынының нақты көлемін төмендетіп көрсетуге және орталық билік алдында аймақтық әкімшіліктің дәрменсіздігін бүркемелеуге бағытталған бюрократиялық амалы еді.

Осылайша, «Тургайская газета» беттеріндегі бұл ресми құжат бір жағынан аймақтағы санитарлық-медициналық қызметтің бюрократияландыруын дәлелдесе, екінші жағынан ресми дереккөздерді тарихи сын (сыни көзқарас) сүзгісінен өткізудің қаншалықты маңызды екенін айғақтайды.

Газеттің 1901 жылғы №4 санында өлкеде бұрынғы 4 уездік дәрігердің орнына 12 учаскелік дәрігерлік лауазым енгізілгені хабарланады [19, 1 б.]. Осы №4 және №6 сандардағы арнайы зерттеулерде қазақтың дәстүрлі ем-домы Амбруаз Паре мен Н.И. Пироговтың хирургиялық қағидаларымен салыстырылады [19, 2 б.]. Дәрігерлер қазақтың басты таңып ұрғылау әдісін («бас уқалау») – физиологиялық массаж, науқасты жас малдың жылы терісіне орауды («шұжыққа түсіру») – терлету арқылы ревматизмді басатын ем, тіс ауруына мыңдуан шөбін қолдану мен күйдірілген қағаздың майын жағуды – құрамындағы креозот арқылы антисептикалық әсер беретін тәсіл деп ғылыми тұрғыдан дәйектеген [20, 2–5 б.].

Ақтөбе уезі 1-дәрігерлік учаскесінің 1901 жылғы есебінде 1820 адамға шешекке қарсы сәтті вакцина егілгені және екпе детритінің арнайы «Торғай облыстық шешек бұзауқорасынан» алынғаны, 5 мәйіт сот-медициналық сараптаудан өткені баяндалады [21, 3–4 бб.]. Ал Қостанай уезінің 3-дәрігерлік учаскесінің (орталығы Семиозерный кенті, 4 қазақ болысы, 46 442 тұрғын) есебінде осыншама халық-

қа қызмет көрсететін дәрігердің мүлде болмағаны, барлық ауыртпалық жалғыз учаскелік фельдшерге түскені ашық хатталған [22, 4-б.].

Талқылау. Алынған зерттеу нәтижелерін тарихнамалық тұжырымдармен салыстыру Торғай облысындағы денсаулық сақтау ісінің империялық отарлау саясатының жалпы заңдылықтарына бағындырылғанын көрсетеді. Белгілі зерттеушілер Л.М. Дамешек пен А.В. Ремнев атап өткендей, Ресей империясы жаңа аумақтарды өзіне қосып алғанда алдымен әскери-саяси шараларға басымдық беріп, денсаулық сақтау секілді әлеуметтік мәселелерді екінші орынға ысырған [23, 76 б.]. «Тургайская газета» материалдары бұл тұжырымды толықтай айғақтайды. Өлкедегі алғашқы емдеу орындарының құрылуы халықтың қажеттілігінен емес, әскери гарнизондар мен отарлық әкімшіліктің қауіпсіздігін қамтамасыз ету мүддесінен туындады. Сонымен қатар, Д.А. Балалыкин атап көрсеткендей, империяның шет аймақтарында кәсіби қалалық медицинаның қалыптасуы тек аумақтың шаруашылық-экономикалық игерілуімен және қалалық инфрақұрылымның пайда болуымен тікелей байланысты болды [24, 181б.]. Осы заңдылық Торғай облысының ішкі бөлінісінен де айқын көрінеді: медициналық желі тек Қостанай мен Ақтөбе секілді орталықтарда дамып, қазақ болыстары шоғырланған учаскелерде дәрігерлер жетіспей, барлық салмақ фельдшерлерге түсті. Мұны батыс ғалымдары П. Майклс пен Ш. Хензенің империялық медицинаның шет аймақтарда тек «қорғаныстық барьер» қызметін атқарды деген тұжырымдары да толықтай бекіте түседі [9, 10].

Қорытынды. «Тургайская газета» (1895–1910 жж.) материалдарын кешенді тарихи-деректанулық тұрғыда сараптау мынадай тұжырымдар жасауға мүмкіндік береді:

1. «Тургайская газета» Торғай облысының денсаулық сақтау тарихын құжаттауда теңдессіз ресми дереккөз қызметін атқарған. Басылымның ресми және бейресми бөлімдеріндегі есептер, қаулылар мен хаттар өлкедегі медицинаның қалыптасу динамикасын қалпына келтіруге жол ашады.

2. Газет деректері өлкедегі денсаулық сақтау желісінің империяның әскери-саяси мүддесі мен «санитарлық қалқан» құру прагматизміне бағындырылғанын дәлелдейді. 1901 жылғы 12 учаскелік реформаға қарамастан, 46 мың тұрғыны бар Қостанай уезі 3-дәрігерлік учаскесінде дәрігердің болмауы жүйенің терең кадрлық дағдарысын көрсетті.

3. Басылым беттерінде жарық көрген «А. В.» мақаласындағы қазақтарды «надандығы үшін медицинадан қашты» деп сипаттаған отаршылдық призмаға негізделген көзқарасты Ахмет Байтұрсынұлының 1896 жылғы жазбасы түбегейлі жоққа шығарды. Мәселе халықтың қарсылығында емес, медициналық инфрақұрылымның жоқтығында екені нақтыланды.

4. «Тургайская газета» дәстүрлі қазақ емшілігін ғылыми медицина қағидаларымен (А. Паре, Н. Пирогов хирургиясы, креозот антисептикасы) сабақтастыра талдаған өзіндік зияткерлік мінбер болды. Басылым материалдары XIX ғ. соңы мен XX ғ. басындағы Торғай өңіріндегі санитарлық саясаттың күнгейі мен көлеңкесін айшықтайтын құнды қазына болып табылады.

Қаржыландыру туралы мәлімет. Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын 2025–2027 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобаларды гранттық қаржыландыру шеңберіндегі AP26199503 ««Тургайские областные ведомости» (1891–1917), «Тургайская газета» (1895–1910) басылымдары: тарихи, этнографиялық және фольклорлық дереккөзі» атты ғылыми жобасы аясында орындалды.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

ӘДЕБИЕТТЕР:

1 **Добросмыслов, А. И. Тургайская область: исторический очерк** [Текст] / А. И. Добросмыслов. – Тверь: Типо-литография Н. М. Родионова, 1902. – Т. 1. – 524 с.

2 **Асфендиаров, С. Д. История Казахстана (с древнейших времен)** [Текст] / С. Д. Асфендиаров. – Т. 1. – Алма-Ата; Москва: Казахстанское краевое издательство, 1935. – 262 с.

3 **Досмухамедов, Х. Д. Как бороться с чумой среди киргизского населения: практическое руководство для работающих на чумной эпидемии** [Текст] / Х. Д. Досмухамедов. – 2-е изд. – Ташкент: Издание Туркестанской центральной комиссии по борьбе с эпидемиями, 1924. – 123 с.

4 **Самарин, Р. И. Очерки истории здравоохранения Казахстана** [Текст] / Р. И. Самарин. – Алма-Ата: Казахское государственное издательство, 1958. – 162 с.

5 **Поддубный, М. В. И др. История здравоохранения дореволюционной России (конец XVI – начало XX в.)** [Текст] / М. В. Поддубный, И. В. Егорышева, Е. В. Шерстнева, Н. Н. Блохина, С. Г. Гончарова; под ред. Р. У. Хабриева. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 248 с. – ISBN 978-5-9704-2731-6.

6 **Абиль, Е. А. и др. Кустанай – Костанай: очерки истории. С древнейших времен до 1936 года** [Текст] / Е. А. Абиль [и др.]; под ред. И. К. Тернового. – Костанай: Костанайполиграфия, 2012. – 608 с. – ISBN 978-601-7109-71-4.

7 **Коккозова, Г. К. Формирование и развитие системы здравоохранения в Казахстане (конец XIX – начало XX вв.)** [Текст]: автореф. дис. ... канд. ист. наук: 07.00.02 / Г. К. Коккозова. – Алматы, 2004. – 28 с.

8 **Субханбердина, Ү. Қазақтың революциядан бұрынғы мерзімді баспасөзіндегі материалдар: мазмұндалған библиографиялық көрсеткіш** [Мәтін] / Ү. Субханбердина. – 2-бөлім. – Алматы: Қазақ КСР Ғылым академиясының баспасы, 1963. – 292 б.

9 **Michaels, P. A. Curative Powers: Medicine and Empire in Stalin's Central Asia** [Text] / P. A. Michaels. – Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2003. – XVII, 239 p. – DOI: https://doi.org/10.2307/j.ctt5vkh97.

10 **Henze, C. E. Disease, Health Care and Government in Late Imperial Russia: Life and Death on the Volga, 1823–1914** [Text] / C. E. Henze. – London; New York: Routledge, 2011. – 232 p. – DOI: https://doi.org/10.4324/9780203833971.

11 **В. А. Оренбургская фельдшерская школа при военном госпитале** [Текст] / В. А. // Тургайская газета. – 1896. – № 35 (25 августа). – С. 283–285.

12 **Байтурсынов, А. Корреспонденция (от нашего корреспондента). Бистамакская волость Актюбинского уезда** [Текст] / А. Байтурсынов // Тургайская газета. – 1896. – № 60 (21 февраля).

13 **Қазақстан Республикасының Орталық мемлекеттік архиві** (ҚР ОМА). – Қ. 15. – Тіз. 3. – Іс 410. – 122-п., сыртқы беті.

14 **Жильцов, А. Во мраке невежества: рассказ из практики киргизских баксы и даргеров** [Текст] / А. Жильцов // Тургайская газета. – 1896. – № 38.

15 **Областная хроника** [Текст] // Тургайская газета. – 1898. – № 21. – С. 2.

16 **Корреспонденция из Иргизского уезда** [Текст] // Тургайская газета. – 1898. – № 18. – С. 3.

17 **О появлении ящура в Тургайской области** [Текст] // Тургайская газета. – 1898. – № 49 (6 декабря). – С. 2.

18 **От Военного губернатора Тургайской области** [Текст] // Тургайская газета. – 1898. – № 50 (13 декабря). – С. 2–3.

19 **Народные способы и средства, употребляемые при лечении болезней киргизами Тургайской области** [Текст] // Тургайская газета. – 1901. – № 4 (20 января). – С. 2.

20 **Народные способы и средства, употребляемые при лечении болезней киргизами Тургайской области** [Текст] // Тургайская газета. – 1901. – № 6 (3 февраля). – С. 2–6.

21 **Первый врачебный участок Актюбинского уезда Тургайской области: по сообщениям за 1901 год** [Текст] // Тургайская газета. – 1902. – № 151 (23 июня). – С. 3–4.

22 **Третий врачебный участок Кустанайского уезда Тургайской области: по сведениям за 1901 год** [Текст] // Тургайская газета. – 1902. – № 173 (4 августа). – С. 4.

23 **Сибирь в составе Российской империи** [Текст] / отв. ред. Л. М. Дамешек, А. В. Ремнев. – Москва: Новое литературное обозрение, 2007. – 362 с. – ISBN 978-5-86793-510-8.

24 **Балалыкин, Д. А. Зарождение медицины как науки в период до XVII в.** [Текст]: учебное пособие / Д. А. Балалыкин. – 2-е изд. – Москва: Литтерра, 2013. – 266 с.

25 **Исенов, Ө. И. XIX ғ. Торғай және Ырғыз бекіністерінің салынуы «Торғай» газеті мерзімдік басылымы деректері бойынша** [Мәтін] / Ө. И. Исенов, Д. Ө. Ихсан // «Шоқан Уәлихановтың мұрасы...» атты I Халықаралық ғылыми форум материалдарының жинағы. – Алматы, 2025. – Б. 267–270.

REFERENCES:

1 **Dobrosmyslov A.I. Turgajskaya oblast': istoricheskij ocherk** [Turgay region: A historical essay]. Vol. 1. Tver, Tipo-litografiya N.M. Rodionova, 1902, 524 p. (In Russian)

2 **Asfendiarov S.D. Istoriya Kazahstana (s drevnejshih vremen)** [History of Kazakhstan from ancient times]. Vol. 1. Alma-Ata, Moscow, Kazahstanskoe kraevoe izdatel'stvo, 1935, 262 p. (In Russian)

3 **Dosmuhamedov H.D. Kak borot'sya s chumoj sredi kirgizskogo naseleniya: prakticheskoe rukovodstvo dlya rabotayushhih na chumnoj e'pidemii** [How to fight the plague among the Kirghiz population: A practical guide for those working during a plague epidemic]. Tashkent, Turkestan Central Commission for Combating Epidemics, 1924, 123 p. (In Russian)

4 **Samarin R.I. Ocherki istorii zdravoohraneniya Kazahstana** [Essays on the history of healthcare in Kazakhstan]. Alma-Ata, Kazahskoe gosudarstvennoe izdatel'stvo, 1958, 162 p. (In Russian)

5 **Poddubnyj M.V., Egorysheva I.V., Sherstneva E.V., Blohina N.N., Goncharova S.G. Istoriya zdravoohraneniya dorevolyucionnoj Rossii (konec XVI – nachalo XX v.)** [History of healthcare in pre-revolutionary Russia: Late 16th – early 20th century]. Ed. by R.U. Habriev, Moscow, GEOTAR-Media, 2014, 248 p. ISBN 978-5-9704-2731-6. (In Russian)

6 **Abil E.A. et al. Kustanaj – Kostanaj: ocherki istorii. S drevneishih vremen do 1936 goda** [Kustanay – Kostanay: Essays on history from ancient times to 1936]. Ed. by I.K. Ternovoj, Kostanay, Kostanajpoligrafiya, 2012, 608 p. ISBN 978-601-7109-71-4. (In Russian)

7 **Kokkozova G.K. Formirovanie i razvitie sistemy' zdravoohraneniya v Kazahstane (konets XIX – nachalo XX vv.)** [Formation and development of the healthcare system in Kazakhstan in the late 19th and early 20th centuries]. Abstract of PhD thesis, 07.00.02. Almaty, 2004, 28 p. (In Russian)

8 **Subhanberdina U. Kazaktyn revolyutsiyadan buryngy merzimdi baspasozindegi materialdar: mazmundalgan bibliografiyalyk korsetkish** [Materials published in pre-revolutionary Kazakh periodicals: An annotated bibliographic index]. Part 2, Almaty, Kazak KSR Gylym akademiyasynyn baspasy, 1963, 292 p. (In Kazakh)

9 **Michaels P.A. Curative powers: Medicine and empire in Stalin's Central Asia**. Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 2003, XVII, 239 p. DOI: https://doi.org/10.2307/j.ctt5vkh97.

10 **Henze C.E. Disease, Health care and government in late imperial Russia: Life and death on the Volga, 1823–1914.** London, New York, Routledge Publ., 2011, 232 p. DOI: https://doi.org/10.4324/9780203833971.

11 **V.A. Orenburgskaya fel'dsherskaya shkola pri voennom gospitale** [Orenburg feldsher school at the military hospital]. *Turgajskaya gazeta*, 1896, no. 35, August 25, pp. 283–285. (In Russian)

12 **Bajtursynov A. Korrespondenciya (ot nashego korrespondenta). Bistamakskaya volost' Aktyubinskogo uezda** [Correspondence from our correspondent: Bistamak Volost of Aktyubinsk District]. *Turgajskaya gazeta*, 1896, no. 60, February 21. (In Russian)

13 **Kazakstan Respublikasynyn Ortalyk memlekettik arkhivi (KR OMA)** [Central State Archive of the Republic of Kazakhstan]. F.15, T.3, Is 410, p. 122. (In Kazakh)

14 **Zhilcov A. Vo mrake nevezhestva: rasskaz iz praktiki kirgizskih baksy' i dargerov** [In the gloom of ignorance: A Story from the practice of Kirghiz baksy and dargers]. *Turgajskaya gazeta*, 1896, no. 38. (In Russian)

15 **Oblastnaya hronika** [Regional chronicle]. *Turgajskaya gazeta*, 1898, no. 21, p. 2. (In Russian)

16 **Korrespondenciya iz Irgizskogo uezda** [Correspondence from Irgiz district]. *Turgajskaya gazeta*, 1898, no. 18, p. 3. (In Russian)

17 **O poyavlenii yashhura v Turgajskoj oblasti** [On the outbreak of foot-and-mouth disease in Turgay region]. *Turgajskaya gazeta*, 1898, no. 49, December 6, p. 2. (In Russian)

18 **Ot Voennogo gubernatora Turgajskoj oblasti** [From the military Governor of Turgay region]. *Turgajskaya gazeta*, 1898, no. 50, December 13, pp. 2–3. (In Russian)

19 **Narodny'e sposoby' i sredstva, upotreblyaemy'e pri lechenii boleznej kirgizami Turgajskoj oblasti** [Folk Methods and remedies used by the Kirghiz of Turgay region to treat diseases]. *Turgajskaya gazeta*, 1901, no. 4, January 20, p. 2. (In Russian)

20 **Narodny'e sposoby' i sredstva, upotreblyaemy'e pri lechenii boleznej kirgizami Turgajskoj oblasti** [Folk methods and remedies used by the Kirghiz of Turgay region to treat diseases]. *Turgajskaya gazeta*, 1901, no. 6, February 3, pp. 2–6. (In Russian)

21 **Pervy'j vrachebny'j uchastok Aktyubinskogo uezda Turgajskoj oblasti: po soobshheniyam za 1901 god** [The first medical district of Aktyubinsk district, Turgay region: According to reports for 1901]. *Turgajskaya gazeta*, 1902, no. 151, June 23, pp. 3–4. (In Russian)

22 **Tretij vrachebny'j uchastok Kustanajskogo uezda Turgajskoj oblasti: po svedeniyam za 1901 god** [The third medical district of Kustanaj district, Turgay region: According to information for 1901]. *Turgajskaya gazeta*, 1902, no. 173, August 4, p. 4. (In Russian)

23 **Dameshek L.M., Remnev A.V. (eds.). Sibir' v sostave Rossiiskoj imperii** [Siberia as part of the Russian Empire]. Moscow, Novoe literaturnoe obozrenie, 2007, 362 p. ISBN 978-5-86793-510-8. (In Russian)

24 **Balalykin D.A. Zarozhdenie mediciny' kak nauki v period do XVII v**. [The emergence of medicine as a science before the 17th century]. 2nd ed., Moscow, Litterra, 2013, 266 p. (In Russian)

25 **Isenov O.I., Ihsan D.O. XIX g. Torgaj zhane Yrgiz bekinisterinin salynuy «Torgaj» gazeti merzimdik basylymy derekteri bojynsha** [Construction of the Torgay and Irgiz fortifications in the 19th century according to the Torgay Newspaper]. *«Shokan Ualihanovtyn murasy...» atty I Halykaralyk gylymi forum materialdarynyn zhinagy*, Almaty, 2025, pp. 267–270. (In Kazakh)

Жіберілген күні: 30 шілде 2026 ж. **Қабылданған күні:** 24 тамыз 2026 ж.
Жарияланған күні: 30 қыркүйек 2026 ж.

Авторлар туралы мәлімет:

Исенов Өтеген Ихсанович – тарих ғылымдарының кандидаты, Қазақстан тарихы кафедрасының профессоры, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., А. Байтұрсынов көш. 47, e-mail: utegen59@mail.ru.*

Ихсан Данияр Өтегенұлы – 2-курс магистранты, «7М01601-Тарих» БББ, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, 110000 Қостанай қ., А.Байтұрсынов көш. 47, e-mail: danik-kosta@mail.ru.

Джумашев Аскар Мамбетович – тарих ғылымдарының докторы, профессор, Өзбекстан Республикасы Ғылым академиясы Қарақалпақстан бөлімінің Қарақалпақ гуманитарлық ғылымдар ғылыми-зерттеу институты тарих бөлімінің меңгерушісі, Өзбекстан Республикасы, Қарақалпақстан, 230100, Нүкіс қ., Әмір Темір көш. 179-а, e-mail: djumashev@yahoo.de.

Исенов Отеген Ихсанович – кандидат исторических наук, профессор кафедры истории Казахстана, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. А. Байтұрсынова 47, e-mail: utegen59@mail.ru.*

Ихсан Данияр Отегенулы – магистрант 2-го курса ОП «7М01601-История», Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. А. Байтұрсынова 47, e-mail: danik-kosta@mail.ru.

Джумашев Аскар Мамбетович – доктор исторических наук, профессор, заведующий отделом истории Каракалпакского научно-исследовательского института гуманитарных наук Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан, Республика Узбекистан, Каракалпакстан, 230100 г. Нукус, ул. Амира Темура 179-а, e-mail: djumashev@yahoo.de.

Issenov Otegen Ikhsanovich – Candidate of Historical Sciences, Professor of the Department of history of Kazakhstan, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 A.Baitursynov Str., e-mail: utegen59@mail.ru.*

Ikhsan Daniyar Otegenuly – Second-year Master's Student, "7M01601 – History" educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 47 A.Baitursynov Str., e-mail: danik-kosta@mail.ru.

Djumashev Askar Mambetovich – Doctor of Historical Sciences, Professor, Head of the Department of history, Karakalpak Research Institute of Humanities, Karakalpak Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Republic of Uzbekistan, Karakalpakstan, 230100, Nukus, 179-A Amir Temur Str., e-mail: djumashev@yahoo.de.

IRSTI 16.21.51
UDC 811
https://doi.org/10.52269/SEPT2631280

ATOMIC PREDICATE INFLUENCE ON THE DEVELOPMENT OF FRENCH, SPANISH AND PORTUGUESE VERB SYSTEMS

Balakin S.V. – Doctor of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of foreign languages and intercultural communication, Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russian Federation.*

The article examines the influence of primitive semantic units–atomic predicates of existence, possessivity, and actionality–on the diachronic development and synchronic functioning of the verbal systems in French, Spanish, and Portuguese. The relevance of the study stems from the need for a comprehensive theoretical understanding of the cognitive mechanisms that govern both the grammaticalization of analytical tense forms and lexical-semantic derivation across the Romance area. The research material comprises data from modern socio-political periodicals of France, Spain, and Portugal, 20th-century fiction, and explanatory dictionaries, analyzed via cognitive-propositional modeling, componential analysis, and comparative-historical methods. The findings reveal that the impact of atomic predicates is ambivalent and operates along two opposite vectors. In the grammatical domain (analytical paradigms of past and future tenses), atomic predicates undergo semantic bleaching and argument reduction, facilitating their auxiliary function. Notably, differential evolutionary rates are identified: structural conservatism in French (avoir), functional specialization in Spanish (haber / tener), and the complete renewal of the auxiliary verb in Portuguese (ter). In the lexical domain, the atomic predicate of actionality (faire / hacer / fazer) acts as a conceptual attractor that incorporates nominal and locative arguments during denominal derivation and discursive metaphorization. The findings provide a unified theoretical model accounting for analytical renewal and semantic flexibility in Romance verbs.

Keywords: *tenses, auxiliary, French language, Portuguese language, Spanish language.*

ФРАНЦУЗ, ИСПАН ЖӘНЕ ПОРТУГАЛ ТІЛДЕРІНДЕГІ ЕТІСТІК ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ДАМУЫНА АТОМДЫҚ ПРЕДИКАТТАРДЫҢ ӘСЕРІ

Балакин С.В. – филология ғылымдарының докторы, профессор, Шет тілдер және мәдениетаралық коммуникация кафедрасының меңгерушісі, Орал мемлекеттік қатынас жолдары университеті, Екатеринбург, Ресей Федерациясы.*

Мақалада негізгі семантикалық бірліктердің – бар болу (существование), посессивтік және акционалдық атомдық предикаттардың – француз, испан және португал тілдеріндегі етістіктер жүйесінің диахрониялық дамуы мен синхронды қызметіне тигізетін әсері зерттеледі. Зерттеудің өзектілігі роман тілдері кеңістігіндегі аналитикалық шақ формаларының грамматикализациясын да, лексика-семантикалық деривациясын да анықтайтын терең когнитивтік тетіктерді кешенді теориялық тұрғыдан пайымдау қажеттілігімен негізделеді. Зерттеу материалы ретінде Франция, Испания және Португалияның заманауи мерзімді баспасөз мәліметтері, XX ғасырдағы көркем мәтіндер және түсіндірме сөздіктер алынып, когнитивтік-пропозиционалдық модельдеу, компоненттік талдау және салыстырмалы-тарихи әдістер арқылы қарастырылды. Атомдық предикаттардың ықпалы екі қарама-қарсы бағытта жүзеге асатыны анықталды. Грамматикалық жүйеде (өткен және келер шақтың аналитикалық парадигмалары) предикаттар десемантизацияға және актанттық құрылымның редукциясына ұшырап, көмекші қызметке бейімделеді. Сонымен қатар тілдердің эволюциялық қарқынында айырмашылықтар анықталды: француз тілінің құрылымдық консерватизмі (avoir), испан тіліндегі функционалдық мамандану (haber / tener) және португал тіліндегі көмекші етістіктің толық алмасуы (ter). Ал лексикалық деңгейде акционалдық атомдық предикат (faire / hacer / fazer) деноминативті деривация мен мәнмәтіндік метафоралану барысында зат есімдік және локативтік актанттарды байланыстырушы концептуалды аттрактор ретінде көрінеді.

Түйінді сөздер: *шақтар жүйесі, көмекші етістік, француз тілі, португал тілі, испан тілі.*

ВЛИЯНИЕ АТОМАРНЫХ ПРЕДИКАТОВ НА РАЗВИТИЕ ГЛАГОЛЬНЫХ СИСТЕМ ФРАНЦУЗСКОГО, ИСПАНСКОГО И ПОРТУГАЛЬСКОГО ЯЗЫКОВ

Балакин С.В. – доктор филологических наук, профессор, заведующий кафедрой иностранных языков и межкультурной коммуникации, Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Российская Федерация.*

В статье исследуется влияние базовых семантических единиц – атомарных предикатов (существования, посессивности и акциональности) – на диахроническое развитие и синхронное функ-

ционирование глагольных систем французского, испанского и португальского языков. Актуальность исследования обусловлена необходимостью комплексного теоретического осмысления когнитивных механизмов, определяющих как грамматикализацию аналитических временных форм, так и лексико-семантическую деривацию в романском ареале. Материалом исследования послужили данные современной периодической печати Франции, Испании и Португалии, художественные тексты XX века и толковые словари, проанализированные с применением когнитивно-пропозиционального моделирования, компонентного анализа и сравнительно-исторического сопоставления. Установлено, что влияние атомарных предикатов носит амбивалентный характер и реализуется по двум противоположным векторам. В грамматической системе (аналитические парадигмы прошедшего и будущего времени) предикаты подвергаются десемантизации и редукции актантной структуры, что обеспечивает их вспомогательную функцию. При этом выявлена вариативность темпов эволюции: структурный консерватизм французского языка (avoir), функциональная специализация в испанском (haber / tener) и полная замена вспомогательного глагола в португальском (ter). На лексическом уровне атомарный предикат действия (faire / hacer / fazer) выступает концептуальным аттрактором, инкорпорирующим именные и локативные актанты при деноминативной деривации и метафоризации в дискурсе. Полученные результаты создают единую теоретическую модель для описания аналитизма и полисемии в романском глаголе.

Ключевые слова: *система времен, вспомогательный глагол, французский язык, португальский язык, испанский язык.*

Introduction. System-forming elements embedded in the deep structure of verbs play a significant role in the development of the verbal system of the Romance languages. The internal structure of the Romance verb is characterized by the presence of atomic predicates, which reflect the primary and secondary conceptualization of situations in extralinguistic reality. Of particular interest are the process and the result of secondary conceptualization, in which changes can be observed both at the morphological level of the auxiliary verb system in the Romance languages and in the semantics of a specific verb, as well as its occasional use in a context that is not inherent to it.

The study shows that the number of atomic predicates is limited; this limitation is related to the capacity of human consciousness to identify the most salient spatio-temporal parameters of extralinguistic reality, relegating additional or secondary ones to the background. As the research demonstrates, the atomic predicates involved in the conceptualization of significant spatio-temporal parameters for French-, Spanish-, and Portuguese-speaking communities are predicates of existence, processivity, and actionality.

As noted above, atomic predicates influence both the development of the tense system and the evolution of the lexical system of Romance verbs [6]. In this respect, opposite trajectories can be observed: in the development of the tense system, a process takes place whereby atomic predicates are stripped of additional arguments, whereas in processes of lexical-system development atomic predicates, in most cases, require additional arguments. The predicates listed above are actualized in the basic verbs. Thus, the predicate of existence is typically expressed by the verbs *être / estar / ser*; the predicate of processivity by *avoir / tener / ter*; and actionality is actualized in the verbs *faire / hacer / fazer*.

Aim. The research aim is to carry out a comparative analysis of the operational mechanisms of atomic predicates in French, Spanish, and Portuguese across both grammatical (analytical tense paradigms) and lexical (derivational and metaphorical models) dimensions.

Tasks

To achieve this aim, the following tasks are addressed:

- to delineate the inventory and categorical status of atomic predicates operating within the Romance verbal system;
- to trace the differential rates of auxiliary replacement and aspectual grammaticalization in past and future tense forms;
- to model the process of argument incorporation mediated by the actional atomic predicate in denominal derivation;
- to investigate how atomic predicate framing facilitates occasional and metaphorical verb uses in authentic discourse.

Methods. The empirical data for this study were compiled using continuous sampling from modern French, Spanish, and Portuguese authentic discourse, including contemporary socio-political media (*Le Monde, El Público, Público.pt*), 20th-century literature (H. Bazin), and lexicographical descriptions (*Dictionnaire Le Robert)*. The methodology integrates comparative-historical analysis, the cognitive-representational method of propositional modeling (N. A. Besedina), and semantic decomposition.

Results. Thus, as a result of an atomic predicate being deprived of an additional argument, the verb that actualizes a given predicate undergoes a process of abstraction, which makes it possible to “use” this verb as an auxiliary.

In the Romance verbal system, the predicate of processivity functions as the stable predicate in the formation of tense forms (with the exception of the present tense). Thus, past tenses are characteristically formed with the auxiliary verbs *avoir / haber / haver* [3, p.20]. However, in Spanish and Portuguese there is an

emerging tendency to employ other auxiliary verbs, albeit still within the framework of the possessivity category. Changes in the system of auxiliary verbs proceed at different rates. In French, no replacement of the auxiliary verb is observed: the established "dominance" of the possessive verb *avoir* remains unchanged and continues to participate in the formation of past tenses [4, p.234; 17]. Cf.:

Le groupe LR à l'Assemblée a prévenu samedi qu'il votera contre le projet de loi d'accélération des énergies renouvelables, qu'il juge «inutile» et accordant des «avantages injustifiés» à la filière éolienne [9].

Pour le groupe LR, «il aurait mieux fallu d'abord réviser la programmation pluriannuelle de l'énergie, relancer le nucléaire, réformer le marché européen de l'électricité» [9].

In Portuguese, the emerging process of auxiliary verb replacement is practically complete: the verb haver has definitively yielded its position to the verb ter. This process has become possible due to the gradual loss by the verb ter of the core arguments of the possessivity category [14; 15]. Cf.:

– Os ardinas têm estado a apregoá-la na praça – respondeu. – Ouvi-os na sala de jantar [12].

– Sofri um choque emocional de que jamais recuperarei – disse. – É tudo questão de semanas. Mas tudo bem! A vida tem sido agradável [12; 18].

Spanish occupies an intermediate position: despite a clear tendency for the verb haver to retain its dominant status, the verb tener begins to express grammatical meaning, gradually displacing haver [15]. Malinowski notes that the verb tener occurs primarily in interrogative and negative contexts; the author provides the following examples:

No lo tengo visto hasta agora entre los klientes de mi tante.

Tiene sintido esta palavra? [11, p. 212].

Many scholars refer to such a process as an intermediate stage between the resultative and the perfect, corresponding to a particular phase in the grammaticalization of full lexical verbs [see 10; 13; p.419]. Cf.:

Estoy de acuerdo, y yo ya tengo hablado con Otis respecto [8].

What is common to all three Romance languages is the process of refocusing of the atomic predicates involved in the formation of future tenses: the atomic predicate of actionality begins to dominate over the predicate of possessivity. At the linguistic level, this refocusing results in a shift in the plane of expression: the *habeo infinitivo* construction, which was transformed into the verbal endings of the *Futur Simple* and *Futuro Simple*, begins to yield to the periphrastic constructions *aller + infinitif, ir + infinitivo, and ir a + infinitive [16; 17].* Cf.:

Aspas sobre ir al Mundial: "La esperanza es lo último que se pierde, voy a tratar de hacerlo lo mejor posible y a ver si tengo suerte" [12].

Confrontée à la flambée des prix de l'électricité, l'aciérie nordiste tournera au ralenti jusqu'à la fin de l'année, mais mise sur le marché automobile allemand, qui va imposer l'utilisation d'acier « vert » [9 ; 19].

– Sim. Foi bom termo-nos encontrado – replicou Hyde. – A propósito, vou dar-lhe o meu endereço [12].

Atomic predicates also influence the development of the lexical system of a language; here, by contrast, such predicates reveal the capacity to bind arguments that reflect the conceptualization of extralinguistic reality. As the conceptual-representational method developed by N. Besedina shows [2, p.8], these arguments can be of two types: arguments that directly participate in the formation of the conceptual basis of a new linguistic unit, and "auxiliary" arguments, which actualize an additional category when a more complex extralinguistic situation is conceptualized, while remaining explicitly unexpressed.

In other words, atomic predicates function as first-order predicates, insofar as they are capable of binding the arguments of the conceptual system without the involvement of additional auxiliary arguments. For example, the atomic predicate of actionality *faire*, at the propositional level, possesses the property of conferring actional status on substantivized and stative actants [20]. As a result, the second actant, expressed by a noun, acquires a verbal form by means of the cognitive mechanism of "conceptual inheritance." For instance: *culbuter = faire une culbute; muser = faire un bruit sourd à bouche fermée; commercer = faire du commerce; cauchemarder = faire des cauchemars.* The same can be said of atomic predicates of existence. Cf.: *avoisinner = être dans le voisinage; copiner = avoir des relations de camaraderie* [7].

Cases are also observed in which atomic predicates "lack" a sufficient number of arguments. In such instances, atomic predicates acquire the status of first-order predicates. This phenomenon reflects the fact that the process of conceptualizing the simplest situations differs from that of more complex situations [5, p. 154].

The highest frequency as a first-order predicate is demonstrated by the predicate of actionality, which is associated with the kinetic properties of extralinguistic reality. Thus, in all three languages under consideration, the atomic predicate of actionality *faire / hacer / fazer* may function as a first-order predicate for the actionality of bodily movement in space, subsequently enabling its spatial localization: *faire – mettre, hacer – poner, fazer – pôr.*

For example, *armer / armar = mettre en état d'une armature / pôr no instrumento de defesa; accoucher* (third order) = *donner la naissance* (second order) = *mettre en possession de* (first order); *essayer* (third order) = *soumettre à une ou des opérations pour voir si elle répond aux caractères qu'elle doit avoir* (second order) = *mettre dans un état de dépendance, ramener à l'obéissance* (first order); *boxer* (third order) = *pratiquer la boxe* (second order) = *mettre à exécution (en pratique)*; *pousser* (third order) = *soumettre à une force agissant*

par pression ou par choc et permettant de mettre en mouvement et de déplacer dans une direction (second order) = *mettre en possession de* (first order) [7].

Accordingly, the predicate of actionality combined with a locative (*mettre / poner / pôr*) displays a more specific conceptual characterization, as it incorporates a locative argument. In this case, the category of the locative argument may encompass any physical or mental processes involved in assigning an object to its place. Cf.: *musiquer = mettre en musique = jouer de la musique; placer = mettre à une place, en un lieu déterminé; conduire à sa place; poser = mettre en un endroit qui peut naturellement la recevoir et la porter; pourvoir = mettre en possession; blouser = mettre dans la blouse; armer = mettre en état d'une armature; donner = mettre en possession* [7].

The further development of the latent predicate of "actionality" proceeds through the acquisition of more specific conceptual locativity (underlyingly locative). Accordingly, *essayer = soumettre à une ou des opérations pour voir si elle répond aux caractères qu'elle doit avoir = mettre dans un état de dépendance, ramener à l'obéissance; pousser = soumettre à une force agissant par pression ou par choc et permettant de mettre en mouvement et de déplacer dans une direction* [7].

The latent predicate of "actionality," expressed by *faire*, is characterized by structural simplicity, which has determined its derivational potential. The predicate of actionality exhibits the highest degree of abstraction: both at the linguistic and at the conceptual level, this predicate, by virtue of its functional–categorical properties, is capable of binding actants belonging to different categories.

For example, *danser = faire un mouvement vers l'avant; débarquer = faire sortir d'un navire*. Just as with the predicate of motion aller, mettre may be more latent and may form predicates of the second and higher orders.

For example, *faire* brings *culbute* out of a potentially actional state into an overtly actional one, which at the linguistic level is expressed in verbal form. Cf.: *muser = faire un bruit sourd à bouche fermée; arquer = courber en arc = rendre courbe; danser = faire un mouvement vers l'avant; débarquer = faire sortir d'un navire; commercer = faire du commerce; cauchemarder = faire des cauchemars; abaisser = faire descendre à un niveau inférieur; abandonner = ne plus vouloir* [7].

In most cases, the atomic predicates of actionality, possessivity, and existence become effaced. Consequently, this predicate functions as a primary predicate for many more specific predicates endowed with a set of more concrete arguments. Cf.: *cravater = entourer d'une cravate; crayonner = dessiner avec un crayon; corner = sonner du cor; armer = garnir d'une armature; camionner = transporter par camion; décrire = faire des traces* [7].

In addition, atomic predicates also affect the occasional, sometimes metaphorical, meanings of verbs. For instance, the verb *jouer / jugar / jogar*, which reflects a dynamic situation, may be used in contexts of active use of specific objects, where such an action resembles play.

This gives rise to a dual nature. On the one hand, the predicates that enter the play frame, the underlying atomic predicates, include free arguments, which allows this verb to be used in a wider range of contexts, with the verb itself acquiring a figurative—metaphorical—meaning.

Un coup d'oeil jeté sur le massif de rosier me fit découvrir Folcoche en train de jouer du sécateur [1, p. 100].

<…> M Rezeau trouvait naturelle mon hospitalité et, comme il ne comportait plus de patates bouillies, jouait hardiment de la fourchette [1, p. 287].

A Saint-Etienne, Jean-Luc Mélenchon assume de jouer le « paratonnerre » [9].

<…> enquanto a sua mão direita imprimia à lamina da espada mil voltas, que eram outros tantos golpes terríveis, a esquerda jogava a adaga com destreza e segurança admiráveis [12].

Discussion. Thus, at present the Romance languages—specifically French, Spanish, and Portuguese—exhibit similar processes in the development of their verbal systems. As "heirs" of Vulgar Latin, these languages share common foundations that, on the one hand, enable the further development of grammatical forms through analytic means and the use of other verbs with more concrete semantics as auxiliaries. These processes are driven by the restructuring of the atomic predicates of possessivity, existence, and actionality. In addition, atomic predicates exert an influence on the semantic development of verbs. In particular, the formation of new denominal verbal forms can be observed, as well as the occasional use of verbs in contexts that are not inherent to them.

The observed phenomena reveal a fundamental cognitive paradox: atomic predicates govern two diametrically opposed vectors of linguistic change. At the morphological level, grammaticalization operates via argument reduction and semantic bleaching, transforming full lexical verbs into tense-aspect auxiliaries. Conversely, in the lexical-derivational domain, atomic predicates act as conceptual attractors that bind nominal and situational actants. Furthermore, a comparative perspective demonstrates divergent evolutionary rates: while French demonstrates structural conservatism (maintaining *avoir* in both possessive and auxiliary roles), Portuguese shows the highest analytical dynamicity (generalizing *ter*), and Spanish occupies an intermediate position with a functional distribution between haber and tener.

Findings. The categorical foundation of French, Spanish, and Portuguese verbal systems is structured around three primary atomic predicates: existence (*être / estar / ser*), processivity/possession (*avoir / haber / ter*), and actionality (f*aire / hacer / fazer*).

In the tense-aspect system, atomic predicates facilitate auxiliarization via the systematic shedding of thematic arguments, accounting for both the rise of analytical past forms and the expansion of allative future periphrases (*aller / ir + Inf*).

In word-formation, the actional atomic predicate governs denominal derivation by incorporating instrument, locative, or result nominal arguments into synthetic verbal stems.

In discourse, atomic predicates function as conceptual frames that enable dynamic verbs of physical activity (*jouer / jugar / jogar*) to acquire abstract, political, and figurative meanings through situational reframing.

Conclusion. The application of atomic predicate theory provides an integrative explanatory framework for both diachronic shifts in Romance auxiliary paradigms and synchronic semantic flexibility in modern discourse. The dual mechanism of argument shedding (in grammar) and argument incorporation (in lexis) explains how core cognitive primitives maintain structural stability across centuries while driving ongoing typological and lexical innovation.

Future research could productively expand this cognitive-semantic model to other Romance varieties (such as Italian and Romanian) and investigate the role of atomic predicates in passive, causative, and modal verbal constructions.

REFERENCES:

1. **Bazen E. Izbranny'e romany': na francuzskom yazy'ke** [Selected novels: in French]. Moscow, Progress, 1979, 573 p. (In Russian)

2. **Besedina N.A. Morfologicheskij peredavaemy'e koncepty': monografiya** [Morphologically conveyed concepts: monograph]. Moscow, Tambov, Izd-vo TGU; Belgorod, Izd-vo BelGU, 2006, 214 p. (In Russian)

3. **Budagov R.A. Sravnitel'no-semasiologicheskie issledovaniya** [Comparative semasiological studies]. Moscow, Izd-vo MGU, 1963, pp. 19–24. (In Russian)

4. **Gak V.G. Sopostavitel'naya leksikologiya: (na materiale franczuzskogo i russkogo yazy'kov)** [Comparative lexicology: (based on French and Russian languages)]. Moscow, Mezhdunarodny'e otnosheniya, 1977, 264 p. (In Russian)

5. **Van Dejk T.A., Kinch V. Strategiya ponimaniya svyaznogo teksta** [Strategies of discourse comprehension]. Novoe v zarubezhnoj lingvistike, iss. 23. Kognitivny'e aspekty' yazy'ka, Moscow, Progress, 1988, pp. 153–211. (In Russian)

6. **Kubryakova E.S. Tipy' yazy'kovy'h znachenij: Semantika proizvodnogo slova** [Types of linguistic meanings: Semantics of derived word]. Moscow, Izd-vo LKI, 2008, 208 p. (In Russian)

7. **Robert P., ed. Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française.** Paris, Le Robert, 1991, vol. 5, 1127 p. (In French)

8. **El Público.** Available at: https://www.publico.es (accessed 08 September 2026)

9. **Le Monde.** Available at: https://www.lemonde.fr (accessed 08 September 2026)

10. **Harris M. The 'past simple' and the 'present perfect' in Romance. Studies in the Romance Verb.** London, Canberra, Croom Helm, 1982, pp. 42–70.

11. **Malinowski A. Distribution and function of the auxiliaries tener and aver in Judeo-Spanish.** Orbis, 1984, vol. 33, pp. 211–221.

12. **Público.** Available at: https://www.publico.pt/ (accessed 08 September 2026)

13. **Squartini M. On the semantics of pluperfect: evidences from Germanic and Romance.** Linguistic Typology, 1999, vol. 3, iss. 1, pp. 51–89.

14. **Palmieri G., Basso R., Bou J.N.I., Winter Y., Zwarts J. Lexical and grammatical arity-reduction: The case of reciprocity in Romance languages.** Natural Language & Linguistic Theory, 2025, vol. 43, pp. 2821–2870. DOI: 10.1007/s11049-025-09681-5

15. **Zelikov M.V., Ivanova A.V. Paradigma modelej s glagolom obladaniya v ibero-romanskih yazy'kah po korpusny'm danny'm** [Paradigm of models with the verb of possession in Ibero-Romance languages according to corpus data]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Yazy'k i literatura*, 2023, vol. 20, iss. 1, pp. 73–95. DOI: 10.21638/spbu09.2023.104. (In Russian)

16. **Shafikov S.G. Tipologiya sostavnogo skazuemogo v evropejskih yazy'kah** [Typology of the compound predicate in European languages]. *Doklady' Bashkirskogo universiteta*, 2023, vol. 8, no. 3, pp. 138–144. DOI: 10.33184/dokbsu-2023.3.9. (In Russian)

17. **Lukina A.E. Verbal system evolution in the French language (diasystematic approach).** *Filologicheskie nauki. Voprosy' teorii i praktiki*, 2020, vol. 13, no. 10, pp. 220–225. DOI: 10.30853/filnauki.2020.10.44. (In Russian)

18. **Beniamine S., Bonami O., Luís A. The fine implicative structure of European Portuguese conjugation.** *Isogloss. Open Journal of Romance Linguistics*, 2021, vol. 7, no. 9, pp. 1–35. DOI: 10.5565/rev/isogloss.109

19. **Soutet O. Le moment analytique dans l'histoire des paradigmes verbaux du français : quelques propositions.** *SHS Web of Conferences*, 2026, vol. 232, art. 00004. DOI: 10.1051/shsconf/202623200004. (In French)

20.**Travassos P.F. Correr uma vista de olhos, glisser une œillade, to shoot a look: Lexical variation in the slot of support verb in complex predicates of visual perception in Portuguese, French and English.** *Revista Diadorim*, 2024, vol. 25, no. 3, art. e62866. DOI: 10.35520/diadorim.2023.v25n3a62866.

Received: 03 August 2026. **Accepted:** 25 August 2026. **Published:** 30 September 2026.

Information about the author:

Балакин Сергей Владимирович – доктор филологических наук, профессор, заведующий кафедрой иностранных языков и межкультурной коммуникации Уральского государственного университета путей сообщения, Российская Федерация, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, e-mail: SBalakin@usurt.ru*, *ORCID: 0000-0003-0448-4404.*

Балакин Сергей Владимирович – филология ғылымдарының докторы, профессор, Орал мемлекеттік қатынас жолдары университетінің Шет тілдер және мәдениетаралық коммуникация кафедрасының меңгерушісі, Ресей Федерациясы, 620034, Екатеринбург, Колмогорова к, 66, e-mail: SBalakin@usurt.ru*, *ORCID: 0000-0003-0448-4404.*

Balakin Sergey Vladimirovich – Doctor of Philological Sciences, Professor, Head of the Department of foreign languages and intercultural communication, Ural State University of Railway Transport, Russian Federation, 620034, Yekaterinburg, 66 Kolmogorov Str., 66, e-mail: SBalakin@usurt.ru*, *ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0448-4404.*

IRSTI 16.21.54
UDC 81'42:070
https://doi.org/10.52269/SEPT2631285

LINGUISTIC MEANS OF EXPRESSING AXIOLOGICAL ATTITUDES IN THE KAZAKHSTAN AND ENGLISH MEDIA: A COMPARATIVE ANALYSIS

Ryssaeva Ye.A. – Master of Philology, Lecturer, Department of philology and practical linguistics, Akhmet Baytursynuly Regional University, Kostanay, Kazakhstan.

Fyodorova M.L. – Senior lecturer of the Department of philology and practical linguistics, Akhmet Baytursynuly Regional University, Kostanay, Kazakhstan.*

The article analyzes the linguistic means of expressing axiological attitudes in modern English-language media discourse, as it is relevant in the context of globalization and the great influence of the media on the formation of public consciousness. The main research purpose is to study, identify and compare the means of expressing evaluative meaning in media texts used in various social and cultural contexts. The research objectives are to analyze explicit and implicit assessment tools and determine their role in creating value orientations. News publications from 2023-2025 from The Guardian (Great Britain) and The Astana Times (Kazakhstan) were used as a research material. The research methodology is based on discursive, linguo-semantic and comparative analysis, which allowed us to consider the estimated resources of the language at various linguistic levels. The research findings demonstrate that British and Kazakh media discourse construct distinct axiological models even when addressing the same thematic field. The British texts are focused on criticism and warning, while the Kazakh materials are aimed at legitimizing and positively interpreting social processes. The scientific value of the work consists in a comprehensive consideration of evaluability in media discourse, and the practical significance is related to the application of the results in language teaching, intercultural communication and media education.

Keywords: *media text analysis, evaluative language, axiological attitudes, explicit and implicit assessment, media linguistics, comparative analysis, English-language press.*

ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ЖӘНЕ АҒЫЛШЫН ТІЛІНДЕГІ БАҚ-ТАҒЫ АКСИОЛОГИЯЛЫҚ ҰСТАНЫМДАРДЫ БІЛДІРУДІҢ ЛИНГВИСТИКАЛЫҚ ҚҰРАЛДАРЫ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Рысаева Е.А. – филология ғылымдарының магистрі, филология және практикалық лингвистика кафедрасының оқытушысы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы ҚӨУ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

*Федорова М.Л. * – филология және практикалық лингвистика кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы ҚӨУ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

Мақалада қазіргі ағылшын тіліндегі медиа дискурстағы аксиологиялық көзқарастарды білдірудің тілдік құралдары талданады, өйткені бұл жаһандану жағдайында және бұқаралық ақпарат

құралдарының қоғамдық сананың қалыптасуына үлкен әсері жағдайында өзекті болып табылады. Жұмыстың негізгі мақсаты әртүрлі әлеуметтік-мәдени контексттерде қолданылатын медиа мәтіндердегі бағалау мәнін білдіру құралдарын зерттеу, анықтау және салыстыру болып табылады. Жұмыстың міндеттері бағалаудың эксплицитті және имплицитті құралдарын талдау және олардың құндылық бағдарларын құрудағы рөлін анықтау болып табылады.

Зерттеу материалы ретінде 2023–2025 жылдардағы The Guardian (Ұлыбритания) және The Astana Times (Қазақстан) басылымдарынан алынған жаңалық жарияланымдары пайдаланылды. Зерттеу әдістемесі тілдің бағалау ресурстарын әртүрлі тіл деңгейлерінде қарастыруға мүмкіндік беретін дискурсивті, лингвосемантикалық және салыстырмалы талдауға негізделген.

Зерттеу нәтижесінде тақырыптық өріс сәйкес келген жағдайда да британдық және қазақстандық медиадискурс әртүрлі аксиологиялық модельдерді қалыптастыратыны анықталды. Британдық мәтіндер сын мен ескертуге бағытталса, қазақстандық материалдар әлеуметтік үдерістерді легитимациялауға және оң тұрғыда түсіндіруге бағдарланған.

Жұмыстың ғылыми құндылығы медиа дискурстағы бағалауды жан-жақты қарастырудан тұрады, ал практикалық маңыздылығы алынған нәтижелерді тіл оқытуда, мәдениетаралық коммуникацияда және медиа білім беруде қолдану мүмкіндігімен байланысты.

Түйінді сөздер: *медиамәтіндерді талдау; аксиологиялық көзқарастар; бағалау тілі; эксплицитті және имплицитті бағалау; медиалингвистика; салыстырмалы талдау; ағылшын тіліндегі баспасөз.*

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ВЫРАЖЕНИЯ АКСИОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В КАЗАХСТАНСКИХ И АНГЛИЙСКИХ СМИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Рысаева Е.А. – магистр филологических наук, преподаватель кафедры филологии и практической лингвистики, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.

Федорова М.Л. – старший преподаватель кафедры филологии и практической лингвистики, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.*

В статье анализируются языковые средства выражения аксиологических установок в современном англоязычном медиадискурсе, что является актуальной проблемой в условиях глобализации и большого влияния СМИ на формирование общественного сознания. Главная цель работы заключается в исследовании, выявлении и сопоставлении средств выражения оценочного значения в медиатекстах, которые используются в различных социокультурных контекстах. Задачами работы являются анализ эксплицитных и имплицитных средств оценки и определение их роли в создании ценностных ориентиров.

В качестве материала исследования были использованы новостные публикации 2023-2025 годов из изданий The Guardian (Великобритания) и The Astana Times (Казахстан). Методология исследования основана на дискурсивном, лингвосемантическом и сопоставительном анализе, которые позволили рассмотреть оценочные ресурсы языка на различных языковых уровнях.

В результате исследования было выяснено, что при совпадении тематического поля британский и казахстанский медиадискурс конструируют разные аксиологические модели. Британские тексты ориентированы на критику и предостережение, тогда как казахстанские материалы направлены на легитимацию и позитивную интерпретацию социальных процессов.

Научная ценность работы состоит в комплексном рассмотрении оценочности в медиадискурсе, а практическая значимость заключена в возможности реализации результатов в процессе преподавании языка, межкультурной коммуникации и медиаобразовании.

Ключевые слова: *анализ медиатекстов, оценочный язык, аксиологические установки, эксплицитная и имплицитная оценка, медиалингвистика, сопоставительный анализ, англоязычная пресса.*

Introduction. Mass media play a key role in the formation of public consciousness and the dissemination of value orientations that are significant for a particular society. Through language the authors of media texts do not merely transmit information but also interpret what is happening, convey certain ideological positions and influence the audience's perception including its emotional and evaluative response. The linguistic structure of a media text often serves as a means of expressing the author’s attitude toward the events, phenomena, and personalities being described. In this regard, the study of axiological attitudes as ways of representing values in media discourse gains particular significance.

In the context of globalization and intensified intercultural interaction, a comparative analysis of linguistic mechanisms for expressing values in the media discourse across various linguacultures is particularly relevant. The axiological orientations transmitted by mass media reflect the specific features of the cultural, sociopolitical

and mental space of each society, which is expressed in the peculiarities of the linguistic design of media texts, the choice of lexical units, syntactic structures and discursive strategies.

A comparative study of the Kazakhstani and English media discourse reveals how cultural, political, and social contexts influence the linguistic expression of values. Two English-language newspapers with different cultural backgrounds were selected for the analysis: The Astana Times (Kazakhstan) and The Guardian (Great Britain). While they both share a focus on a global audience, each reflects the values and characteristics of its own country in its content.

The purpose of this study is to identify and compare the linguistic means of expressing axiological attitudes in the Kazakhstani and English media texts. The work is aimed at determining the linguistic mechanisms by which evaluation is formed and value orientations are realized in media texts.

The following research objectives stem from the above: to examine the main approaches to studying axiological attitudes and evaluativeness in media discourse;

to identify explicit and implicit linguistic means of expressing evaluation;

to compare the use of evaluative vocabulary and other means in *The Guardian* and *The Astana Times* at the lexical, syntactic, stylistic, and pragmatic levels;

to identify the main similarities and differences in the axiological models of these two publications.

Translated with DeepL.com (free version)

The object of the study is media texts presented by materials of modern mass media of both countries. The core corpus of this study comprises the news articles published between 2023 and 2025 (inclusive). Their selection is methodologically justified by their dual significance: as a primary vehicle for agenda-setting and as a highly representative media format.

The subject of the study is the linguistic means of expressing axiological attitudes, including lexical, syntactic, stylistic and pragmatic elements aimed at the formation and transmission of evaluative meanings.

The methodological basis is the method of discourse analysis, linguo-semantic analysis and comparative analysis, which are comprehensively used to identify and compare axiological strategies in media discourses of Kazakhstan and the UK.

Thus, the presented study is aimed at identifying linguo-cultural differences in the ways of expressing evaluation and revealing the role of linguistic means in the formation of a value picture of the world in the English and Kazakhstani media space.

Theoretical foundations. Since the main aim of our research is to analyze how the mass media convey values through the language, it is reasonable to clearly define the basis of this process first of all. Therefore, this section will be devoted to a detailed overview of what axiological attitudes are and how they are revealed in language and discourse. The role of evaluation (i.e. explicit and implicit evaluation) in media texts will also be described in this part of our study.

Before exploring the essence of axiological attitudes, it is appropriate to briefly examine axiology as a philosophical science that studies values, their nature, hierarchy, and role in human life. Axiology demonstrates how the understanding of values has evolved (from antiquity to modern theories). From our perspective, it is necessary to systematize the key views of thinkers who have made significant contributions to the development of axiology. The origins of axiology date back to the philosophical teachings of Socrates, Plato, and Aristotle [1, p.27]. Further views on value and anti-value were reconsidered and formalized in the form of theological truths, dogmas and doctrines, to the development of which St. Augustine and Thomas Aquinas made a significant contribution. During the Enlightenment, Immanuel Kant divided values into relative (material and conditional) and absolute (moral and unconditional). Later, representatives of the Baden School of Neo-Kantians (Heinrich Rickert, Wilhelm Windelband) proclaimed axiology to be the heart of philosophy, defining it as a critical science that studies generally significant values as transcendental norms [2, p.15]. Jean-Jacques Rousseau and John Locke in their philosophical works developed key social values such as law, justice, contract and property rights - considering them as integral elements and consequences of the concept of a social contract [3].

By the middle of the 20th century, axiology had emerged as an independent science, incorporating diverse philosophical views: objectivism, subjectivism, cultural relativism, and sociologism. We are very close to the views of the German philosopher Max Scheler, who proposed a hierarchy of values. This objectivist argued that values are not a chaos, but a strict ladder, at the top of which are sacred and religious values, then spiritual values (truth, beauty, goodness), below which are the vital values (health, strength), and at the very bottom are the values of pleasure [1, p.79].

Subjectivists affirmed that a value is created by human interest (as mentioned by the American philosopher Ralph Barton Perry, the founder of systemic English-language axiology) [2, p.4]. John Dewey also believed that values are dynamic guidelines that change with a person's experience and living conditions. This philosopher developed this idea, saying that our life guidelines and values are not something static. They are dynamic and constantly transform along with our life experiences and changing reality.

According to Max Weber, who adhered to the ideas of cultural relativism, society is not characterized by a single, universally shared value system. Instead, the values of various social groups oppose one another, and the need to choose between them becomes a problem for the individual due to their fundamental incompatibility [2, p.5]. Therefore, Weber's voluntarism should be understood not as an acknowledgement of

chaos, but as a demand that individuals find clarity, demonstrate determination, and assume responsibility in situations of inevitable conflict of values.

The representative of sociologism was Talcott Parsons, an American social philosopher and theorist who studied the characteristics of social systems. According to his point of view values are an integrative mechanism that:

1. Sets common goals for a society;
2. Legitimizes social norms and rules;
3. Coordinates the actions of individuals, reducing the potential for conflict;
4. Is transmitted through socialization institutions (family, school, religion) [4, p.43].

Parsons views the values as "social glue" – the connecting link that integrates individuals into a coherent, functioning society. By adopting shared values, individuals coordinate their actions, allowing society to function as an entire system. This key metaphor for Parsons emphasizes his view of society as a self-regulating system, where stability is maintained through cultural consensus [5].

To describe how exactly society maintains its integrity and stability, he developed the AGIL (Adaptation, Goal-attainment, Integration, Latency) model, according to which any social system must perform four key functions. Each of these functions is responsible for a specific aspect of social order, and values in this model act as a cross-cutting regulator that permeates all levels of the social system. The first function, adaptation, is associated with the ability of society to adapt to environmental conditions and effectively use material resources. Goal-attainment involves formulating socially significant goals and mobilizing resources to achieve them; values legitimize power, management decisions, and social priorities here. The third function, Integration, ensures the coordination of actions among various social groups and the maintenance of public order; shared values act as "social glue," reducing conflict and making behavior predictable. Latency is responsible for the reproduction of cultural norms and motivational attitudes of the individual through institutions of socialization, ensuring the continuity and stability of the social system over time. Thus, the AGIL model demonstrates that values are not a secondary element of social life, but a system-forming factor that ensures adaptation, purposefulness, integration, and cultural reproducibility of society. Through the implementation of these four functions, a social system maintains its integrity, stability, and capacity for development.

We adhere to the point of view of Talcott Parsons, since his structural-functional model interprets values as the foundation of a social system, ensuring normative coordination of actions, social integration and the stability of social order, which allows us to consistently interpret axiological attitudes and dominants as key mechanisms for organizing discursive and communicative interaction.

A study of the evolution of the values reveals that values and the ways of understanding them are not universal or ahistoric. On the contrary, axiological attitudes are formed in close connection with the specific historical, cultural, social, and ideological conditions of an era. Each philosophical doctrine of values reflects not only the individual position of the thinker but also the dominant forms of consciousness, social demands, and cultural priorities of its time.

Axiological attitudes are system-forming value orientations that form the foundation of an individual's or society's worldview, determining behavioral motives, communication practices, and cultural identity. They act as a "filter" for interpreting reality and regulate social interactions.

According to S.N. Sokolova [6, p. 144], the key aspects of axiological attitudes can be represented as follows:

1) Formation of worldview. Axiological attitudes define an integral system of ideas about the world, human, and his role in social and cultural reality, defining the basic coordinates for understanding reality.

2) Motivation of behavior. They act as internal guidelines that determine the choice of goals, methods, and means for achieving them, guiding and justifying individual and collective actions.

3) Regulation of interaction. Value attitudes function as implicit norms and rules governing forms of communication and behavior patterns in society, ensuring the predictability and stability of social connections.

4) Perception filter. Events, phenomena, and actions are interpreted through the prism of axiological attitudes, which determines their evaluation and semantic significance for the subject.

5) The basis of culture and identity. A set of value orientations forms cultural norms, traditions and symbolic codes which are the essence of national, group and social identity.

Thus, if axiological attitudes represent a deep, potential level of the value system, then axiological dominants act as their discursively actualized form. This means that in a specific sociocultural context, those that become dominant are selected from a variety of attitudes and brought to the forefront. The functions of these actualized dominants in the structure of public discourse are becoming a key subject of research interest. As discourse studies conducted by Yu.S. Starostina, I.V. Chekulai and O.N. Prokhorova [7, p. 186] demonstrate, five key functions of axiological dominants can be identified in English-speaking society. In the English-speaking sociocultural space, values primarily perform a *social-regulatory* function, which consists of forming and reinforcing norms of socially acceptable behavior (for example, the value of tolerance in interethnic communication). At the same time, being the foundation for understanding reality, values are simultaneously characterized by a significant motivational potential and act as an impelling basis for speech and communicative activity, thereby realizing a motiv*ational* function. People interpret their own experiences through the prism of relevant axiological attitudes, developing an individual value system that is reproduced in

interpersonal communication. As a result, socially fixed axiological dominants are integrated into the structure of the communicative personality, defining the value-based approach to reality and fulfilling the regulatory and motivational functions of verbal behavior. English-language culture as a historically established social formation possesses a specific system of axiological dominants, the *cultural and integrative* function of which consists of uniting the corresponding linguistic and cultural community among other functions. Axiological orientations form the deep foundation of personality and often operate unconsciously determining verbal behavior. Successful communication is possible only if participants share a common axiological foundation, which shapes the intellectual and emotional background of discourse. In English-language interpersonal communication, values also perform a *structure-forming* function, ensuring the axiological coordination of the speech actions of interlocutors. In addition to all the above mentioned functions the communicant's values perform a *pragma-axiological* function, having a value-evaluative influence on communication partners, shaping the content of the dialogue and facilitating potential changes in their individual linguaxiospheres. The authors believe that during communication the participants rely on their own linguaxiospheres, as well as on the value orientations of their partner, and generally accepted socio-cultural norms. Moreover, the aforementioned five key functions of axiological dominants are realized simultaneously in the English-language discursive-communicative space.

We understand that values exist directly in the language. They are materialized through our choice of words, intonation and stylistic devices. The language thus becomes not simply a means of conveying information, but a channel for the transmission of value systems. Meanwhile, a discourse is a dynamic space where these systems are formed, fixed, or brought into a question in the process of communication. In a discourse axiological attitudes become part of goal-oriented communication. Therefore, studying axiological attitudes in a language and a discourse allows us to effectively explore the map of society's values, as captured in words.

Based on this premise, the media text becomes the key object for analyzing axiological attitudes and their linguistic embodiment. It represents not simply an informational message, but a special type of discourse in which facts are intertwined with evaluations, interpretations, and emotional accents [8, p.36]. Axiological attitudes serve as the internal core of the media text, and the media text, in its turn, is the major channel for transmitting these values to the audience and fixing them in the public consciousness.

Axiological attitudes play several key roles in media texts. First and foremost, they shape public opinion [9]. Through the choice of words, quotations, and the structure of presentation, media convey not only information but also an evaluation of events. Media also often intensify existing value orientations in society. If publications regularly emphasize the importance of family, education, patriotism, and hard work, these values become established in the public consciousness as the "norm". Journalists and authors of publicistic writing are capable of changing the audience's axiological worldview by imposing new values or reinterpreting the old ones. For example, the concept of "success" can shift from "career growth" to "work-private life harmony" depending on media trends [10, p. 14]. Axiological attitudes in media texts don't always unite people – they can divide the audience into "ours" and "others", "right" and "wrong," which is especially noticeable in political or ideological discussions [9]. The educational function is especially important in media texts related to the upbringing of children and youth. At this point the value component comes to the forefront: materials not only inform parents or teachers, but also transmit a model of "correct" behavior and attitudes toward family, education, and the government [11, p.22].

Within the linguaxiological approach axiological attitudes are interpreted as a system-forming component of the communicative personality, determining the selection of speech behavior strategies, the pragmatic focus of utterances, and the specific value-evaluative impact on the addressee. Their study allows us to identify not only the substantive but also the functional characteristics of discourse, including mechanisms of social regulation, motivation, and cultural integration.

Axiological attitudes in media texts are linguistically embodied through a complex system of linguistic markers representing the value positions of the author and editorial staff, which are realized in both explicit and implicit forms of evaluation. It seems reasonable to first consider explicit evaluation, sequentially analyzing the corresponding linguistic markers at the lexical, morphological, syntactic, stylistic, and pragmatic levels, and then proceed to a description of the mechanisms of implicit evaluation.

Explicit evaluation in media texts represents a form of open axiological expression, in which the value orientations of the author and editorial staff are verbalized directly and unambiguously. Lexical means of expressing evaluation are traditionally viewed as the basic level of representation of axiological attitudes. Particularly at the lexical level that axiological attitudes are realized most explicitly, since evaluative semantics is directly fixed in the meaning of linguistic units. The problematics of lexical evaluation is thoroughly explored in the works of N.D. Arutyunova, where evaluation is considered a universal semantic category of language, associated with the opposition of the positive and the negative, the approved and the condemned [12, p. 60]. Among the main lexical means of expressing evaluation is evaluative vocabulary, which directly marks the author's attitude to the described events and objects (positive/negative evaluation adjectives and adverbs: *successful, courageous, significant, destructive, dangerous; extremely, exceptionally, doubtfully; as well as nouns and verbs: rascal, mediocrity, masterpiece, hackwork, breakthrough; enrich, decorate, ruin, spoil, improve, vulgarize. ennoble, destroy, inspire*). Special attention in media texts is given to emotionally expressive vocabulary aimed at enhancing the impact on the audience (*shocking, disturbing, outrageous*). Anna

Wierzbicka emphasizes that emotionally coloured words not only convey feelings but also set the normative evaluation of events in terms of cultural scripts [13, p.388].

Thus, lexical markers of explicit evaluation act as a key component of the axiological potential of media discourse, providing a direct expression of value attitudes and forming the direction of the interpretation of information on the part of the addressee.

Morphological markers of explicit evaluation include comparative and superlative degrees (*the worst crisis in decades; more dangerous than*), evaluative affixes (*hopeless, pointless, childish*), as well as modal forms with clearly expressed subjectivity (*must be unacceptable*), which enhance the categorical nature of the statement [14, p.142].

At the syntactic level, the evaluation is fixed through predicative constructions of direct qualification (*"It is unacceptable that such measures were introduced"*), modal-evaluative frames (*"We believe this decision is wrong"*) and emphatic structures that bring the evaluation into the focus of the message.

Stylistically explicit evaluation is expressed through hyperbole (*"I've been waiting for you for ages!"*), repetition (*"It was a terrible, terrible mistake. Terrible in its consequences..."*) and rhetorical questions (*"Is it right to behave in such way?")*, which increases the expressiveness and persuasiveness of the text.

Pragmatic means of expressing evaluation are based on strategies and tactics that have a communicative impact and attitude toward the subject of speech. As the authors note in their study [15, p. 3], these are viewed as a complex phenomenon, incorporating extralinguistic factors, i.e. knowledge of the world, sociocultural context, and the author's intentions. Explicit evaluation in pragmatic terms serves as a means of open expression of the author's value position in media discourse. It implements a strategy of direct axiological positioning in which the attitude towards events and social actors is not hidden, but formulated explicitly. Within the framework of this strategy, techniques of legitimation and delegitimation are used, when actions or decisions are presented as justified and socially significant (*"The reform is necessary"*) or, conversely, as unacceptable and incorrect (*"This policy is irresponsible"*) [16, p.94]. Strategies of accusation and justification are aimed at clearly distributing responsibility between participants in events and are implemented through direct evaluative statements, for example: *"The minister failed to act"* or *"The government was forced to make this decision"* [14, p.42]. In addition, explicit evaluation is used in the strategy of mobilizing the addressee, when the reader is encouraged to adopt a certain position or action through categorical judgments and appeals (*"This must not continue"*), which enhances the persuasive impact of the media text [17, p.62].

Implicit evaluation in media texts represents a form of hidden axiological expression, in which the author's and editorial staff's value attitudes are not directly linguistically marked but are reconstructed by the recipient during the interpretation of discourse. At the lexical level, implicit evaluation is realized through epithets, similes, phraseological units, euphemisms, and metaphors. An epithet acts through hidden comparison, weaving an evaluation into the characterization of an object. It directly indicates a quality (beauty, horror, magnificence) fixing the evaluation in the mind. The following epithets can be given as an example: *Indian* summer, *deathly* silence, *brilliant* success. As for the similes they make the evaluation objectivized. The author does not seem to be making a verdict himself, but rather refers to a well-known, established image which enhances the persuasiveness: *loyal as a dog*; *run around like a squirrel in a cage*; *stubborn as a donkey*; *cold as ice*. Phraseological units allow us to give a concise, idiomatic assessment of an entire situation or character trait: *neither fish nor fowl, to have one's head screwed on the right way, golden hands, to twiddle one's thumbs*. Euphemisms don't just replace a rude word with a polite one. They act as a tool that alters our perception of things: they soften the sharp edges of unpleasant topics or intentionally conceal their true essence under neutral or even positive formulations [18, p.644]. Among bright examples the following euphemisms can be mentioned: *in reduced circumstances*, *disabled person*, *overweight*, *to be expecting a baby* and etc. Metaphor in media discourse is one of the key means of implicit evaluation, since it ensures the transmission of value attitudes not directly, but through a figurative reinterpretation of social reality (*path of progress, economic storm, threat to democracy*). As Norman Fairclough mentioned stable metaphorical models in media texts perform the role of a hidden evaluative mechanism, since they direct the addressee's interpretation without explicit axiological commentary [16, p.133].

At the morphological level implicit evaluation is manifested through grammatical categories that do not directly convey an evaluation but influence the interpretation of the message. Thus, the choice of tense-aspect forms, particularly the perfect (*has failed to address*) actualizes the idea of the failure or completion of an action with a negative outcome; nominalization (*the destruction of infrastructure*) allows to shift the focus from the agent to the event or result, weakening explicit evaluation; the use of the category of uncertainty (*a certain decision*) creates the effect of distancing and hidden criticism.

At the syntactic level implicit evaluation is realized through constructions that conceal the source of the evaluative judgment and responsibility for the events. These include passive forms (*Mistakes were made*), impersonal and nominative structures (*There were consequences),* as well as presuppositional constructions *(The minister finally admitted…)* in which the evaluation is embedded in the premise of the utterance.

Complex sentences with cause-and-effect relationships play a significant role where the evaluation is derived from the consequences described, and is not formulated directly [16, p.105].

Stylistically, the implicit evaluation is supported by the techniques of irony and sarcasm, allusions and intertextual references, metaphorization, as well as contrasting comparison of facts (juxtaposition), which enhances the hidden impact while maintaining the formal neutrality of the statement.

In pragmatic terms, implicit evaluation forms the core of media discourse's manipulative and ideological strategies, including framing, presuppositional imposition of interpretation, strategic silence, and the normalization of evaluations through repetition. These strategies allow to form stable value representations without resorting to direct evaluation, which significantly increases the effectiveness of the axiological impact of the media text [14, p. 67].

Consequently, it can be concluded that in general implicit evaluation acts as a key mechanism for implementing the interpretive function of media discourse, ensuring the formation of socially significant meanings and value orientations through an indirect, implicit expression of evaluative attitude.

Results and discussion. The transition from the analysis of linguistic means of expression and types of evaluation to the practice of their application in specific media (The Guardian / The Astana Times), representing different cultures, is a logical and necessary development of our research. This will allow us to see how universal linguistic techniques serve as a tool for expressing and promoting fundamentally different axiological attitudes in these printed publications. The choice of the topic “Education and Technology” is ideal for such a comparison, since it is a global vector of development, which acquires unique features in each country, reflecting its internal priorities and problems.

During our linguistic investigation we have noticed that while both English-language newspapers address identical themes, artificial intelligence being a prime example, their discursive positions are diametrically opposed. The narratives diverge into polarized evaluative frames: The Guardian article is fundamentally critical and precautionary, defining AI as a potential disruptor of human cognition, whereas the Kazakhstani materials are promotional and progress-oriented, presenting AI as an essential instrument of national development and personal advancement. Thus, common topics serve not as a point of convergence, but as a revealing ground for fundamentally different ideological and axiological commitments.

In The Guardian, explicit axiological attitudes are realised primarily through evaluative lexical units with negative semantics. Evaluative adjectives such as *harmful, dangerous, corrosive, worrying, dismal* and metaphorically intensified expressions like *brain-rotting videos* or *toxic crisis* do not merely describe phenomena but actively frame them as threats to human cognition, moral integrity and institutional stability. These adjectives encode judgement and emotional stance simultaneously, constructing education and AI as spaces of degradation rather than empowerment.

Evaluative nouns further reinforce this framing. Phrases such as *a crisis in education, cognitive decline, failure of the system,* and *a veneer of legitimacy* conceptualise problems as systemic, deep-rooted and structurally embedded. Importantly, the noun *crisis* signals urgency and exceptional danger, while *veneer of legitimacy* implies deliberate deception and moral hypocrisy, delegitimising institutional responses to technological change.

Evaluative verbs in The Guardian also play a crucial role in shaping explicit axiological meaning. Verbs such as *undermine, erode, weaken, devalue,* and *threaten* present AI not as a neutral tool but as an active agent of harm. Even seemingly descriptive verbs (*replace thinking, throw off course*) are evaluatively charged, as they imply loss of autonomy and cognitive regression. At the same time, occasional positive verbs (*enable, support, offer*) appear, but they function as cautious acknowledgements rather than dominant evaluative drivers, reinforcing the overall critical balance of the discourse.

Explicit evaluation is intensified through emotive lexis (*deep concern, alarming, terrifying, heartbroken*), which personalises abstract social processes and transforms them into experiences of fear, anxiety and moral pain. This emotional layer is further strengthened by evaluative predicative constructions (*It is worrying that students rely on AI; The argument is unconvincing*), which position the author as a moral judge articulating normative standards. Stylistically, The Guardian frequently employs rhetorical questions (*How will we maintain scepticism and intellectual independence?*), expressive intensification (*nothing short of a crisis*), and irony, all of which invite the reader into a shared space of doubt and critical reflection. Thus, explicit evaluation in The Guardian performs not only a descriptive but also a mobilising function, encouraging scepticism and resistance.

In sharp contrast, explicit evaluation in The Astana Times is overwhelmingly positive and legitimising. Evaluative adjectives such as *strategic, transformative, high-quality, unprecedented, leading,* and *global* construct education reform and technological innovation as unquestionably beneficial and forward-looking. These adjectives encode not only approval but also a sense of inevitability and correctness of the chosen path.

Evaluative nouns (*achievements, breakthroughs, priorities, global leaders, cutting-edge technologies*) further reinforce a success-oriented narrative. Unlike The Guardian, where nouns highlight failure and crisis, The Astana Times consistently foregrounds results, progress and recognition. Even when challenges are mentioned, they are framed as productive stimuli rather than threats, serving to legitimise further reform.

Evaluative verbs such as *strengthen, boost, promote, facilitate, seize opportunities* emphasise agency, control and strategic intentionality. These verbs depict national actors as proactive and capable of shaping their future rather than reacting to external pressures. Evaluative adverbs (*dramatically reshaped*) and emotive lexis (*thriving, ambitious, amazing opportunity*) contribute to an atmosphere of enthusiasm and confidence.

Comparative and superlative forms (*largest projects, best academic practices, most important challenges*) function as markers of leadership and competitiveness, embedding Kazakhstan symbolically within global hierarchies of success. Modal verbs (*we can strengthen, can create*) highlight collective potential and unity, contrasting sharply with the caution and conditionality typical of The Guardian.

Explicit evaluation in The Astana Times therefore performs a clear legitimising function, affirming state policies, reinforcing national pride and presenting education as a key instrument of socio-economic advancement.

Implicit evaluation in The Guardian often operates through metaphorical and structural choices rather than overt judgement. Metaphors such as *outsourcing thinking, erosion of skills, surveillance economy,* and *corrosive content* implicitly conceptualise AI as a force of decay, control and moral danger. These metaphors structure perception by framing technological change as a process of gradual destruction rather than progress.

In our opinion a thorough examination of the following example is rather essential. The expression "*a golden age of stupidity*" is both a metaphor and a hyperbole. It's a striking example of how these rhetorical figures combine for a maximum effect. On the one hand, the author creates a new concept, proposing to have a look at the current state (abundant ignorance, irrationality, superficiality) as a historical era characterized not by the flourishing of wisdom, but, in his ironic opinion, by the "flourishing" of stupidity. This is a classic conceptual metaphor. On the other hand, intentional exaggeration is used for emotional impact and to strengthen the author's evaluation. It's unlikely that the author literally believes that we live in a historical period that future generations will call the "golden age of stupidity." Strategic exaggeration serves to give sarcasm maximum sharpness, turning it into a weapon of shock value and provocation. Hyperbole makes the idea more memorable and emphasizes the depth of the author's pessimism and condemnation. Finally, we can conclude that this is a metaphorical hyperbole, or a hyperbolic metaphor. It uses the power of metaphor to create a new perspective on reality and the power of hyperbole to make this evaluation as sharp and uncompromising as possible. This expression was used in The Guardian as the headline of an article mocking or lamenting the state of modern society. Metaphor structures the thought, while hyperbole infuses it with emotional and evaluative energy. In this case, they create a concentrated and powerful form of critical expression.

The collection of metaphors from English-language media forms a coherent critical language for describing the digital age, where technological progress is understood through images of decline, erosion, and moral anxiety. These metaphors do not simply illustrate phenomena; they form a distinct axiological field – a system of value judgments expressing profound concerns about fundamental shifts in society, the economy, and human nature. They paint a picture of a world where the logic of efficiency and automation conflicts with the values of autonomy, equality, and authenticity. For example, the metaphors *outsourcing thinking* and *erosion of skills* convey the attitude that human thought and skill are the highest value, corroded by dependence on technology. This anxiety is strengthened by images of systemic pressure and irreversible damage. *Corrosive content* and *automation logic* depict technological systems not as neutral instruments, but as active, almost chemically aggressive forces (*corrosive*) or as a blind, fatalistic ideology (*logic*) that subjugates human decisions. *Surveillance economy* completes this picture by revealing the hidden, anti-human foundation of such a system – total control and profit-taking from data as its primary imperative. Along with criticizing internal decline, metaphors severely condemn social divides and moral compromises. *Skills chasm* is a powerful image of social inequality, where a skills gap becomes an unbridgeable chasm, threatening the integrity of society. The *fig leaf approach* shifts the critique to an ethical dimension, exposing the hypocrisy of government and corporations that cover up unacceptable practices with paltry justifications – a modern version of the biblical fig leaf. It is a language that not only describes digital transformations, but evaluates them from the perspective of threats to human dignity, democracy, and social justice, fulfilling the role of a contemporary cultural-critical mythology.

Euphemisms (*recent challenges, philanthropic gifts*) are used ironically, exposing attempts to mask structural problems or reputational manipulation. Ideologically loaded terms like *labour market* foreground power relations and inequality, while nominalisations (*dependence, displacement, erosion*) abstract responsibility and highlight outcomes over agents, intensifying the sense of systemic crisis.

Syntactically, presuppositions (*the challenges posed by AI*) and cause–effect constructions (*this has led to weaker skills*) present negative consequences as self-evident facts, discouraging alternative interpretations. Passive constructions (*standards have been lowered*) subtly assign blame without naming responsible actors, reinforcing institutional critique.

Stylistically, irony (*effortless learning*) and allusion (*brave new world of AI*) encode scepticism and dystopian anxiety, inviting readers to question overly optimistic narratives. Pragmatically, AI is framed as an ethical and social risk, while plural voices and dissenting opinions are foregrounded, constructing criticism itself as a value.

In The Astana Times, implicit evaluation performs an opposite function. Metaphors such as *academic hub, building a brand, human capital,* and *knowledge economy* conceptualise education primarily as an economic resource and a tool of geopolitical positioning. These metaphors implicitly legitimise instrumental and market-oriented approaches to education while marginalising humanistic or ethical concerns. Nominalisation (*modernisation, development, expansion*) and passive constructions (*agreements were signed, programs*

were launched) create an impression of objective, inevitable progress, backgrounding agency and potential responsibility for outcomes.

Presuppositional structures play a crucial role in shaping consensus in The Astana Times. The *need to adapt to global change* or the assumption that international rankings and foreign campuses inherently signify success remain largely unquestioned. Notably, implicit evaluation is reinforced through strategic silence: alternative viewpoints, risks, and potential failures are systematically underrepresented or omitted entirely. This silence itself functions as an evaluative strategy, sustaining optimism and legitimising policy through omission.

Thus, a comparative analysis of the British and Kazakhstani media discourses confirms that explicit and implicit evaluations function not as isolated linguistic devices, but as interconnected levels of axiological coding within a media text. Explicit markers ensure the direct articulation of a value position, while implicit means form a stable interpretive framework within which the reader reconstructs the "obvious" meaning of what is happening.

Conclusion. In conclusion, it should be noted that this study has examined the linguistic means of expressing axiological attitudes in English-language media discourse through a comparative analysis of The Guardian and The Astana Times, with a particular focus on explicit and implicit evaluation. The findings demonstrate that evaluation in media discourse functions not merely as a stylistic or expressive device but as a central mechanism of ideological and value construction.

The analysis reveals that *The Guardian* and *The Astana Times* embody two contrasting axiological models of social development. *The Guardian* predominantly constructs education and artificial intelligence as ethically charged, problematic and potentially risky domains. This evaluative orientation is realised through a dense network of explicitly negative lexical markers, emotive and stylistic intensification, and implicitly through metaphoric framing, presuppositions, nominalisation and irony. Together, these strategies promote critical reflection, ethical vigilance and scepticism towards narratives of technological inevitability.

In contrast, *The Astana Times* consistently frames education and digital transformation as drivers of progress, national competitiveness and global integration. Explicitly positive evaluation dominates across lexical, grammatical and stylistic levels, while implicit strategies such as legitimation through authority, naturalisation of reform processes, presuppositional necessity and strategic silence contribute to the construction of a consensual and optimistic discourse. In this model, potential risks and contradictions are backgrounded, and progress is presented as both desirable and unavoidable.

Importantly, the study shows that identical thematic domains do not generate convergence in media representation. On the contrary, shared topics become sites of ideological divergence, where different value systems are articulated and reinforced through distinct configurations of evaluation. Explicit and implicit evaluative mechanisms interact to guide readers' interpretation of social reality, shaping attitudes towards education, technology and development in culturally and politically specific ways.

The results of this research contribute to the broader field of media linguistics and axiological studies by demonstrating the analytical value of combining explicit and implicit evaluation within a unified interpretative framework. The findings may be relevant for further comparative studies of media discourse, particularly in contexts where global themes are refracted through different national, ideological and cultural lenses. Future research could extend this approach to a wider range of media outlets, languages and socio-political settings in order to deepen understanding of how evaluative discourse participates in the construction of social values and collective worldviews.

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

REFERENCES:

1. **Anisimov S.F. Vvedenie v aksiologiyu** [Introduction to Axiology]. Moscow, Sovremenny'e tetradi, 2001, 128 p. (In Russian)

2. **Baryshkov V.P. Aksiologiya** [Axiology]. Saratov, Nauka Izdatel'skij Centr, 2009, 65 p. (In Russian)

3. **Abdusattarova S.F. Features of T. Parsons' social systems.** *Modern Innovations*, 2021, no. 2 (40), pp. 42–43. (In Russian)

4. **Sokolova, S.N. Duhovnaya bezopasnost' lichnosti v informacionno-obrazovatel'nom prostranstve** [Spiritual security of the individual in the information and educational space]. Minsk, RIPO, 2025, 213 p. (In Russian)

5. **Starostina Yu.S., Chekulai, I.V., Prokhorova, O.N**. **Functional set of axiological dominants within English discourse-communicative space.** *Vestnik of Samara University. History, Pedagogics, Philology*, 2021, vol. 27, no. 4, pp. 184–189.

6. **Zhabo N.I., Avdonina, M.Yu., Chernysheva**, **I.B. Axiological space of media text**. *Vestnik of Moscow City University. Philosophical Sciences*, 2021, no. 1 (37), pp. 32–39. DOI: 10.25688/2078-9238.2021.37.1.03

7. **Nersesova, T.E. Aksiologicheskaya osnova mediakontenta kak sposob formirovaniya sub"ektivnogo vospriyatiya kul'turny'h cennostej obshhestva i ix ocenki** [Axiological basis of media content as a means of forming subjective perception of cultural values]. *Media Theory*, 2011, no. 2. (In Russian)

8. **Polikarpova, E.V**. **Aksiologicheskie funkcii mass-media v sovremennom obshhestve** [Axiological functions of mass media in modern society]. Rostov-on-Don, IPPK pri RSU, 2002, 66 p. (In Russian)

9. **Smirnova O.V., Svitich, L.G**. **Axiology of journalism in academic discourse: research experience of the Faculty of Journalism of Moscow State University**. *MediaAlmanakh*, 2024, no. 5 (124), pp. 20–26. DOI: 10.30547/mediaalmanah.5.2024.2026

10. **Arutyunova N.D. Tipy' yazykovy'h znachenii: Ocenka. Soby'tie. Fakt** [Types of linguistic meanings: Evaluation. Event. Fact]. Moscow, Nauka, 1988, 339 p. (In Russian)

11. **Wierzbicka A. Language. Culture. Cognition**. Moscow, Russkie slovari, 1996, 416 p. (In Russian)

12. **Martin J.R., White, P.R.R. The language of evaluation: appraisal in English**. London, Palgrave Macmillan, 2005, 271 p.

13. **Prihodko G., Pryhodchenko O., Zaluzhna M., Moroshkina G. Strategies and tactics of evaluative discourse**. *Proceedings of the International Scientific Conference on Innovation in Science and Education (ISC-SAI 2020),* Atlantis Press, 2020, pp. 1–7.

14. **Fairclough, N. Critical Discourse Analysis: Critical Study of Language.** 2nd ed. London, Routledge, 2010, 608 p.

15. **Wolf E.M. Funkcional'naya semantika ocenki** [Functional semantics of evaluation]. Moscow, Editorial URSS, 2002, 280 p. (In Russian)

16. **Sammany, M.H. Semantic features of euphemisms in the Russian language**. *Young Scientist*, 2014, no. 6 (65), pp. 643–649. (In Russian)

17. **Trang D. Jean Jacques Rousseau's concept of freedom and equality in the Social Contract**. Available at: https://www.scielo.br/j/trans/a/CYJ9Ff7tzjdsMD5Nb8vZwms/?lang=en (accessed 15 August 2026)

17. **Nickerson Ch. Value consensus in sociology**. Available at: https://www.simplypsychology.org/value-consensus.html (accessed 28 August 2026)

Received: 20 August 2026. **Accepted:** 10 September 2026. **Published:** 30 September 2026.

Information about the authors:

Ryssayeva Yelena Andreevna – Master of Philology, Lecturer, Department of philology and practical linguistics, Akhmet Baytursynuly Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, tel.: 87052544888, e-mail: helena-85@bk.ru

Fyodorova Marina Leonidovna – Senior Lecturer, Department of philology and practical linguistics, Akhmet Baytursynuly Regional University, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, tel.: 87015304906, e-mail:andreyfed31@mail.ru*

Рысаева Елена Андреевна – филология ғылымдарының магистрі, оқытушы, филология және практикалық лингвистика кафедрасы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы ҚӨУ, Қазақстан Республикасы, Қостанай қ., тел.: 87052544888, e-mail: helena-85@bk.ru

Федорова Марина Леонидовна – филология және практикалық лингвистика кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы КӨУ, Қазақстан Республикасы, Қостанай қ, тел 87015304906, e-mail: andreyfed31@mail.ru*

Рысаева Елена Андреевна – магистр филологических наук, преподаватель кафедры филологии и практической лингвистики, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, тел.: 87052544888, e-mail: helena-85@bk.ru.

Федорова Марина Леонидовна – старший преподаватель кафедры филологии и практической лингвистики, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, Республика Казахстан, тел.: 87015304906, e-mail: andreyfed31@mail.ru.*

IRSTI 06.71.07; 05.11.45; 37.23.29
UDC 338.439.6(575.3)
https://doi.org/10.52269/SEPT2631295

ECONOMIC SUSTAINABILITY OF FOOD SUPPLY IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN AMID CLIMATE AND DEMOGRAPHIC CHANGES

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, 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 state language and modern foreign languages, Tajikistan University of Innovation and Digital Technologies, Kulob, Republic of Tajikistan.

Akhmedzoda Z.P. – Candidate of Pedagogical Sciences, Tajikistan University of Innovation and Digital Technologies, Kulob, Republic of Tajikistan.

This article examines the economic sustainability of food supply in the Republic of Tajikistan under the combined effects of climate and demographic changes. The study extends the statistical and economic assessment of long-term transformations in the country's agricultural sector and shifts the focus from the analysis of individual climatic and production indicators to evaluating the capacity of agricultural production to meet the food needs of a growing population. The empirical basis of the study comprises data from the Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan, FAOSTAT, the World Bank, and NASA POWER. The sustainability of food supply is assessed through the interrelationship between population dynamics, cereal production, crop yields, harvested areas, climatic parameters, and indicators of the economic accessibility and affordability of food. Particular attention is paid to per capita grain production as an indicator reflecting the combined effects of changes in agricultural production capacity and demographic pressure. The research methodology includes time-series analysis, assessment of variability and interrelationships among indicators, estimation of econometric relationships, and scenario-based calculations. The study aims to determine the contribution of production, climatic, and demographic factors to changes in the level of food supply, as well as to estimate the required increase in cereal yields needed to offset population growth and the potential intensification of climate-related risks. The findings can be used to substantiate policy and strategic measures aimed at improving agricultural productivity and strengthening the resilience of the national agri-food system.

Keywords: *food supply, economic sustainability, climate change, demographic growth, grain production, crop yield, grain imports.*

КЛИМАТТЫҚ ЖӘНЕ ДЕМОГРАФИЯЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕР ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ТӘЖІКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ АЗЫҚ-ТҮЛІКПЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ЖҮЙЕСІНІҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

Асоев Б.Х. – экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), цифрлық экономика және қаржы факультетінің деканы, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті.

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.

Ахмедзода З.П. – педагогика ғылымдарының кандидаты, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті.

Мақалада климаттық және демографиялық өзгерістердің қатар жүруі жағдайында Тәжікстан Республикасының азық-түлікпен қамтамасыз ету жүйесінің экономикалық тұрақтылығы зерттеледі. Зерттеу елдің аграрлық секторындағы ұзақ мерзімді өзгерістерді статистикалық-экономикалық бағалауды жалғастыра отырып, жекелеген климаттық және өндірістік көрсеткіштерді талдаудан ауыл шаруашылығы өндірісінің өсіп келе жатқан халықтың азық-түлікке деген қажеттілігін қамтамасыз ету әлеуетін бағалауға басымдық береді. Зерттеудің ақпараттық базасын Тәжікстан Республикасы Президенті жанындағы Статистика агенттігінің, FAOSTAT дерекқорының, Дүниежүзілік банктің және NASA POWER жүйесінің ресми статистикалық деректері құрайды. Азық-түлікпен қамтамасыз етудің экономикалық тұрақтылығын халық санының динамикасы, дәнді дақылдар өндірісінің көлемі, олардың өнімділігі, егіс алқаптарының мөлшері, климаттық параметрлер және азық-түліктің экономикалық қолжетімділігін сипаттайтын көрсеткіштер жүйесі негізінде бағалау ұсынылады. Өндірістік әлеует пен демографиялық жүктемедегі бірлескен өзгерістердің нәтижесін сипаттайтын маңызды индикатор ретінде жан басына шаққандағы астық өндірісіне

ерекше назар аударылады. Зерттеу әдістемесі динамикалық қатарларды талдауды, көрсеткіштердің вариациясын және олардың өзара байланысын бағалауды, эконометриялық модельдер құруды, сондай-ақ сценарийлік есептеулер жүргізуді қамтиды. Зерттеу барысында азық-түлікпен қамтамасыз ету деңгейінің өзгеруіне өндірістік, климаттық және демографиялық факторлардың ықпал ету дәрежесін айқындау, сондай-ақ халық санының өсуінен туындайтын демографиялық қысымды және климаттық тәуекелдердің ықтимал күшеюін теңгеру үшін дәнді дақылдар өнімділігінің қажетті өсу қарқынын бағалау көзделеді. Зерттеу нәтижелері ауыл шаруашылығы өндірісінің өнімділігін арттыру, азық-түлікпен қамтамасыз етудің экономикалық тұрақтылығын нығайту және ұлттық агроазық-түлік жүйесінің орнықтылығын қамтамасыз ету бағыттарын ғылыми тұрғыдан негіздеуде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: *азық-түлікпен қамтамасыз ету, экономикалық тұрақтылық, климаттың өзгеруі, демографиялық өсім, астық өндірісі, дақылдардың өнімділігі, астық импорты.*

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

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 «Аллюр», 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 статье исследуется экономическая устойчивость продовольственного обеспечения Республики Таджикистан в условиях одновременного воздействия климатических и демографических изменений. Исследование продолжает статистико-экономическую оценку долгосрочных изменений аграрного сектора страны и переносит акцент с анализа отдельных климатических и производственных показателей на оценку способности сельскохозяйственного производства обеспечивать растущую численность населения. Информационную базу составляют данные Агентства по статистике при Президенте Республики Таджикистан, FAOSTAT, Всемирного банка и NASA POWER. Предлагается оценивать устойчивость продовольственного обеспечения через соотношение динамики численности населения, производства зерновых культур, урожайности, посевных площадей, климатических параметров и показателей экономической доступности продовольствия. Особое внимание уделяется производству зерна в расчете на душу населения как показателю, отражающему результат совместного изменения производственного потенциала и демографической нагрузки. Методика исследования предусматривает анализ динамических рядов, оценку вариации и взаимосвязей показателей, построение эконометрических зависимостей и сценарные расчеты. Предполагается определить вклад производственных, климатических и демографических факторов в изменение уровня продовольственного обеспечения, а также оценить необходимый рост урожайности зерновых культур для компенсации увеличения численности населения и возможного усиления климатических рисков. Полученные результаты могут быть использованы при обосновании направлений повышения производительности сельского хозяйства и устойчивости национальной агропродовольственной системы.

Ключевые слова: *продовольственное обеспечение, экономическая устойчивость, изменение климата, демографический рост, зерновое производство, урожайность, импорт зерновых.*

Introduction

Ensuring a sustainable food supply for the population is one of the fundamental conditions of a country's socio-economic stability. For countries with limited land and water resources, this issue is determined not only by the absolute volume of agricultural production, but also by the relationship between changes in production capacity, population dynamics, and shifts in natural and climatic conditions. As the population grows, an increase in gross agricultural output alone does not necessarily guarantee a corresponding improvement in food availability if production growth is insufficient to offset additional domestic demand [1].

For the Republic of Tajikistan, this issue is particularly important due to the combination of limited land suitable for agricultural use, the significant role of irrigated agriculture, and crop production's dependence on water availability. Climate change further complicates this relationship [2]. Rising air temperatures increase evapotranspiration and crop water requirements, while the uneven distribution of precipitation raises the risk of moisture deficits during specific stages of the growing season. Previous research has shown that the

sensitivity of agricultural production in Tajikistan is shaped by a combination of climatic, water-related, and technological factors [3].

Contemporary studies of food supply sustainability in Tajikistan examine this issue both at the level of agricultural production and from the perspective of the resilience of farms and households. Egamberdiev et al. identified a positive relationship between farm resilience and food security indicators in Tajikistan [4]. Another study by these authors confirms the role of household resilience and adaptation strategies in reducing vulnerability to food insecurity [5]. Research on the grain sector indicates that the sustainability of wheat production is associated with crop yields, seed quality, and the technological characteristics of production [6]. At the same time, farmers' crop choices and adaptive behavior depend on a combination of economic, resource-related, and external factors [7]. Nevertheless, the quantitative relationship between grain production dynamics, demographic pressure, and external trade-based food supply at the national level remains insufficiently studied, which defines the focus of the present research.

At the same time, the long-term development of the agricultural sector has been characterized by a substantial increase in production capacity. The results of previous research show that gross output grew more rapidly than the area under crops, indicating the increasing importance of crop yields and other factors associated with the intensification of agricultural production. In particular, over the period studied, a strong relationship was found between gross grain production and crop yield (r=0.984r = 0.984), whereas the relationship between gross grain production and the size of the cultivated area was considerably weaker (r=0.564r = 0.564) [8].

However, an increase in aggregate production does not necessarily result in a proportional improvement in food availability for the population. Per capita grain production exhibited less stable dynamics than aggregate production: its maximum value was recorded in 2009, while the average level for 2020–2024 was lower than that observed during 2010–2019. This makes it possible to approach the economic sustainability of food supply from a broader perspective: not only as the ability of the agricultural sector to increase production, but also as its capacity to maintain an adequate level of output relative to a changing population under climate-related constraints.

The economic dimension of food supply sustainability is likewise not limited to the physical availability of agricultural products. Growth in household income determines the capacity for effective demand, while food imports can partially compensate for insufficient domestic production. In previous research, GDP per capita was identified as an indirect indicator of the economic accessibility of food and was considered in conjunction with agricultural production, cereal yields, imports, population size, food prices, and climatic parameters [9].

Accordingly, the aim of this study is to assess the economic sustainability of food supply in the Republic of Tajikistan by quantitatively determining the relationship between agricultural production dynamics, demographic pressure, and climatic factors, as well as by identifying the level of grain production productivity required to maintain an adequate level of food supply for the population.

To achieve this aim, the study examines the dynamics of cereal production and population size; assesses changes in per capita grain production; identifies statistical relationships between climatic conditions, crop yields, and grain production; determines the impact of population growth on per capita food availability; develops scenarios of changes in food supply; and estimates the level of cereal yield required to offset demographic and climate-related pressures.

Materials and Methods

The empirical basis of the study consists of official statistical publications of the Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan [10], FAOSTAT data on cereal production, harvested area and yield [11], World Development Indicators data on population dynamics [12], and meteorological data from the NASA POWER system [13].

Data for 2020–2024 are used to assess the current situation. For the analysis of long-term relationships and subsequent econometric modeling, it is appropriate to use a comparable annual time series covering 1993–2024. A five-year period alone is insufficient for the reliable estimation of multivariate econometric models and is therefore used primarily to characterize current structural trends.

According to FAOSTAT methodology, cereal indicators refer to crops harvested for dry grain. Crops harvested for hay, green fodder, or silage are not included in this category. In addition, the FAOSTAT area indicator refers to harvested area, rather than sown area in the narrow statistical sense. Therefore, the term "harvested area of cereal crops" is used throughout the calculations in this study.

To assess demographic pressure, per capita grain production is calculated as follows:

$$GPC_t = \frac{G_t}{POP_t} \quad (1)$$

where GPC_t is the volume of domestic grain production per capita in year t, t/person; G_t is the total volume of grain production in year t, t; POP_t is the population in year t, people.

If the volume of grain production is expressed in tons, and the indicator needs to be presented in kilograms per person, the formula is used:

$$GPC_t = \frac{G_t \times 1000}{POP_t} \quad (2)$$

In this case, GPC_t is measured in kg/person.

This indicator allows us to determine whether the dynamics of domestic production are consistent with the rate of population change. An increase in G_t with a simultaneous decline or stagnation in GPC_t indicates that the increase in gross output is largely absorbed by demographic growth.

However, for a country that relies on grain imports to meet domestic needs, the indicator of domestic per capita production does not reflect the full volume of available resources. Therefore, an additional indicator of gross available grain resources is calculated:

$$GR_t = G_t + IMP_t - \text{EXP}_t \quad (3)$$

where GR_t is gross available grain resources; G_t is domestic production; IMP_t is import; EXP_t is export.

Accordingly, the provision of gross grain resources per capita is determined as:

$$GRPC_t = \frac{G_t + IMP_t - \text{EXP}_t}{POP_t} \quad (4)$$

$GRPC_t$ indicator is more meaningful for analyzing the resource side of food supply, as it takes into account both domestic production and foreign trade. However, it should not be interpreted as the actual grain consumption of the population. The formula does not account for changes in stocks, seed use, feed purposes, technological processing, and losses. Therefore, the indicator is used as an analytical indicator of gross resource security, rather than as a direct indicator of food consumption.

To analyze the factors of change in grain production, the production ratio is used:

$$Gt = At \times Yt/1000 \quad (5)$$

where Gt is cereal production in year t, tonnes; At is the harvested area of cereal crops in year t, h_a; and Yt is cereal yield in year t, kg/h_a. Division by 1,000 converts kilograms into tonnes.. This relationship makes it possible to distinguish between the extensive component of production growth, associated with changes in harvested area, and the intensive component, associated with changes in yield. To characterize the dynamics of indicators, absolute and relative changes are calculated:

$$\Delta X = X_t - X_0$$
$$T_X = \left(\frac{X_t}{X_0} - 1\right) \times 100\% \quad (6)$$

where X_0 and X_t are the values of the analyzed indicator in the base and reporting periods, respectively.

Of particular importance in the study is the calculation of the crop yield required to compensate for population growth. If the target level is the basic domestic grain production per capita q_0, then the required crop yield is determined:

$$Y_t^{req} = \frac{q_0 \times POP_t}{A_t} \quad (7)$$

Where

$$q_0 = \frac{G_0}{POP_0} \quad (8)$$

The economic meaning of the formula is that, given a known population size and a limited area of grain crops, it is possible to determine the minimum yield necessary to maintain the basic volume of domestic grain production per capita.

Taking into account foreign trade, the formula expands:

$$Y_t^{req} = \frac{GRPC^* \times POP_t - IMP_t + \text{EXP}_t}{A_t} \quad (9)$$

where GRPC * is the target level of grain resources per capita. This formulation allows us to assess the extent to which the required domestic yield depends on the scale of import coverage.

When modeling the possible reduction in yield due to climate impact of magnitude δ, the required potential yield can be calculated as follows:

$$Y_t^{clim} = \frac{Y_t^{req}}{1 - \delta} \quad (10)$$

For example, with an expected climate-induced reduction in actual crop yields by 5%, the production and technological potential must exceed the normal calculated level so that, after the climate risk has been realized, the actual crop yields do not fall below the level necessary to maintain the specified per capita supply.

The climate research block is formed on the basis of NASA data POWER [13]. The system provides time series of meteorological parameters, including air temperature and precipitation, with daily data available since 1981, ensuring temporal comparability with the main study period. For agricultural analysis, it is advisable to use average air temperature and precipitation for both the calendar year and the main growing seasons. Given the pronounced spatial heterogeneity of Tajikistan's territory, climate data should be aggregated across major agricultural zones, rather than presented as the value of a single arbitrary geographic point.

The econometric stage primarily involves assessing the impact of climatic factors on crop yield, since regressing production simultaneously on area and crop yield would largely reproduce the arithmetic identity Gt =A_t×Y_t/1000. In general, the crop yield model can be represented as:

$$ln\, Y_t = \alpha + \beta_1 T_t + \beta_2 P_t + \beta_3 Trend_t + \varepsilon_t \quad (11)$$

where T_t is the temperature indicator, P_t is the amount of precipitation, $Trend_t$ is the time trend reflecting the combined impact of technological and organizational-economic changes, ε_t is the random error.

Before estimating the models, the time series should be tested for trends and stationarity. If non-stationarity is detected, growth rates, first differences, or other appropriate transformations should be applied to reduce the risk of spurious regression. In addition, autocorrelation, heteroscedasticity, and multicollinearity should be diagnosed.

Food accessibility is considered an additional dimension of sustainability. GDP per capita, income dynamics, the consumer price index for food, and import costs can be used as macroeconomic indicators. However, GDP per capita is considered only as an indirect indicator of potential solvency, not as a direct measure of food accessibility for individual households.

Results and discussion

An analysis of indicators for 2020–2024 reveals significant differences in the dynamics of production and demographic factors.

Table 1 – Key Indicators of Cereal Production and Demographic Dynamics in Tajikistan, 2020–2024

Year	Population, people	Harvested area of grain, ha	Yield, kg/ha	Grain production, t	Production per capita, kg/person.
2020	9,749,310	372,860	3,526	1,313,000	134.7
2021	9 966 908	377 362	3,885	1,465,000	147.0
2022	10 182 222	372 191	3,926	1,460,000	143.4
2023	10,389,799	373,837	3,733	1,395,442	134.3
2024	10,590,927	376 457	4 124	1,552,464	146.6

Source: compiled by the authors based on FAOSTAT [11] and World Development Indicators [12];

World Bank data [12] confirm that Tajikistan's population reached 10,590,927 in 2024, while updated FAO data report cereal production of 1,552,464 tonnes and a cereal yield of 4,124 kg/ha.

Over the period under review, the harvested area of cereal crops increased from 372.9 to 376.5 thousand hectares, or by only 0.96%. At the same time, cereal yield rose from 35.26 to 41.24 centners per hectare, corresponding to an increase of approximately 16.96%. Cereal production increased by about 18.2%. These dynamics indicate that expansion of the physical land base was not the main source of output growth. Production growth was driven primarily by higher output per unit of land.

This result is of fundamental importance for assessing the future sustainability of food supply. With the harvested area remaining virtually stable, the scope for extensive expansion of cereal production is limited. Consequently, further compensation for population growth should be achieved primarily through higher yields, lower production losses, and more efficient use of water, material, technical, and technological resources.

At the same time, the country's population increased by approximately 8.6% during 2020–2024. Despite the higher growth rate of gross cereal production, per capita production did not follow a consistently upward trend. In 2020, the indicator was approximately 134.7 kg per person; it increased to 147.0 kg in 2021, declined again to 134.3 kg in 2023, and recovered to 146.6 kg only in 2024.

Therefore, growth in gross production and growth in per capita availability are not identical processes. During periods of unfavorable yield dynamics, population growth can significantly intensify the decline in the per capita indicator. Thus, between 2022 and 2023, continued population growth coincided with a decline in gross grain production, resulting in lower domestic production per capita. This confirms the need to account for the demographic factor when assessing the development of the agricultural sector.

The positive outcome observed in 2024 also requires substantive interpretation. Compared with 2023, cereal production increased by approximately 11.3%, whereas harvested area grew by only 0.7%. Yield increased by about 10.5% over the same period. Thus, almost the entire increase in output was again associated with the intensive factor. Updated FAO data report cereal yields in Tajikistan at 4,124 kg/ha in 2024, compared with 3,733 kg/ha in 2023.

The increasing role of yield has a dual significance for economic sustainability. On the one hand, intensification makes it possible to increase output under conditions of limited land availability. On the other hand, the strong dependence of production outcomes on yield increases the importance of the factors that directly determine yield fluctuations, particularly water availability, temperature, the amount and seasonal

distribution of precipitation, the quality of agricultural technologies, and the condition of irrigation infrastructure. This dependence is especially important for Tajikistan, where irrigation is a critical component of agricultural production and food supply.

A second important dimension of sustainability is related to foreign trade in cereals. In 2024, cereal imports amounted to 1,334,115 tonnes, compared with 1,175,745 tonnes in 2023, representing an increase of 13.47%. Exports remained negligible, at approximately 2 tonnes in 2024 and 18 tonnes in 2023. The substantial scale of cereal imports makes it necessary to consider not only their physical volume, but also their value characteristics and their contribution to the formation of the country's total grain resource base.

To quantitatively assess the foreign trade component of food supply, data from the FAOSTAT Detailed Trade Matrix were used. This database provides information on the physical volumes and monetary values of imports and exports of agricultural products. Its use makes it possible to assess not only the scale of external cereal supplies, but also their contribution to the formation of the country's overall resource availability [14].

Table 2 – Indicators of Cereal Imports and Their Role in the Resource Supply of the Republic of Tajikistan, 2023–2024

Indicator	2023	2024	Absolute change	Rate of change, %
Cereal imports, tonnes	1 175 745	1 334 115	+158 370	+13,47
Value of cereal imports, USD million	331,804	324,727	−7,077	-2,13
Average unit value, USD/tonne	282,21	243,40	−38,81	-13,75
Cereal imports per capita, kg/person	113,16	125,97	+12,81	+11,32
Ratio of imports to domestic production, %	84,26	85,94	+1,68 п.п.	-
Share of imports in gross grain resources, %	45,73	46,22	+0,49 п.п.	-

Source: compiled by the authors based on data from the FAOSTAT Detailed Trade Matrix [14] and World Development Indicators [12];

The data presented in Table 2 demonstrate the substantial role of external supplies in the formation of grain resources in the Republic of Tajikistan. In 2024, the physical volume of cereal imports reached 1,334.1 thousand tonnes, increasing by 158.4 thousand tonnes, or 13.47%, compared with 2023. At the same time, the total value of cereal imports decreased from USD 331.8 million to USD 324.7 million, or by 2.13%. As a result, the average estimated unit value of imported cereals declined from USD 282.21 to USD 243.40 per tonne, representing a decrease of 13.75%. This indicator is calculated as the ratio of the total value of cereal imports to their physical volume and should not be interpreted as the market price of any individual type of cereal product.

The significance of the foreign trade factor is also confirmed by FAO estimates: imports account for more than half of Tajikistan's domestic cereal requirements, while wheat represents more than 90% of total cereal imports [15].

On a per capita basis, cereal imports increased from 113.16 kg in 2023 to 125.97 kg in 2024, or by 11.32%. At the same time, the ratio of imports to domestic cereal production rose from 84.26% to 85.94%, while the share of imports in estimated gross grain resources increased from 45.73% to 46.22%. These ratios confirm the substantial compensatory role of imports in supplying the domestic market with grain resources. However, significant dependence on external supplies also increases the sensitivity of the national food system to changes in global market conditions, import costs, exchange-rate movements, and the reliability of transport and logistics channels. Therefore, the assessment of the economic sustainability of food supply should take into account both the production potential of domestic agriculture and the scale and economic characteristics of external trade-based supply.

For the quantitative assessment of overall resource availability, the following analysis uses indicators of estimated gross grain resources. Based on the proposed formula, gross grain resources in 2023 amounted to:

$$GR_{2023} = 1\,395\,442 + 1\,175\,745 - 18 = 2\,571\,169$$

Per capita, t/person:

$$GRPC_{2023} = \frac{2\,571\,169}{10\,389\,799} = 0{,}2475$$

This corresponds to 247.5 kg per capita. For 2024, gross available grain resources amounted to, tonnes:

$$GR_{2024} = 1\,552\,464 + 1\,334\,115 - 2 = 2\,886\,577$$

Per capita grain resource availability was, t/person:

$$GRPC_{2024} = \frac{2\,886\,577}{10\,590\,927} = 0{,}2726$$

The resulting value corresponds to 272.6 kg of grain resources per capita.

Consequently, gross grain resources increased by approximately 12.3% in 2024 compared with 2023, while the per capita indicator rose by about 10.1%. Thus, during this period, growth in domestic production was supplemented by an increase in imports, allowing total resource availability to expand more rapidly than the population.

However, the structure of these resources highlights the substantial role of the external market. In 2024, the volume of cereal imports was equivalent to approximately 86% of domestic cereal production, while their share in the estimated gross grain resources reached about 46%. Imports therefore perform an important compensatory function, but at the same time create another type of economic risk. The sustainability of food supply becomes dependent not only on the condition of domestic agriculture, but also on world market prices, the purchasing capacity of the economy, exchange-rate movements, transportation costs, and the reliability of trade channels.

Accordingly, an increase in imports cannot be interpreted unequivocally as either a deterioration or an improvement in food supply sustainability. From the perspective of physical availability, additional imports can compensate for insufficient domestic production. From the perspective of economic sustainability, excessive dependence on imports may increase exposure to external price and logistics shocks. Therefore, it is analytically important to distinguish between self-sufficiency based on domestic production and overall resource availability that takes foreign trade into account.

The results also confirm the need for a separate analysis of climatic factors. Since cereal-growing areas have changed only slightly in recent years, while most of the increase in production has been driven by higher yields, climate-induced fluctuations in crop yields may have a stronger effect on food availability than changes in land area. Rising temperatures and more frequent periods of extreme heat increase the importance of efficient irrigation and water-saving technologies. The World Bank directly links the modernization of Tajikistan’s irrigation infrastructure with greater climate resilience in agriculture and improved food security [16].

From an economic perspective, this means that the principal reserve for improving domestic food supply lies not in the mechanical expansion of cultivated areas, but in increasing the productivity of the resources already in use. Given persistent land constraints, the sustainability of the system will depend on its ability to maintain rates of yield growth that exceed, or at least offset, the increase in demographic pressure and potential climate-related losses.

Several limitations should be taken into account when interpreting the results. First, data for 2020–2024 make it possible to characterize the current situation, but are insufficient for the reliable identification of long-term econometric relationships. Second, the gross grain resources indicator does not account for changes in stocks or the different end uses of grain. Third, national and international statistical databases may apply different methodologies and may subsequently revise previously published data. Therefore, when constructing a time series for 1993–2024, it is essential to use a single internally consistent FAOSTAT series and to avoid mechanically combining values from different statistical revisions.

Conclusion

The analysis demonstrates that the economic sustainability of food supply in the Republic of Tajikistan should be assessed not only on the basis of changes in gross agricultural production, but also by taking into account the relationship between production capacity, population size, foreign trade flows, and climatic constraints.

During 2020–2024, cereal production increased considerably faster than harvested area. While harvested area expanded by approximately 1%, cereal yield increased by almost 17%, and gross production rose by more than 18%. This indicates the predominance of an intensive pattern of production growth and confirms the key role of yield improvement in further increasing the domestic supply of grain.

At the same time, the country’s population increased by approximately 8.6% over the period under review. As a result, the dynamics of per capita grain production were more volatile than those of gross production: increases in the per capita indicator in some years were followed by declines in others. Consequently, population growth partially absorbs the effect of expanding agricultural production and should therefore be considered an independent source of pressure on the national agri-food system.

Calculations incorporating foreign trade show that imports represent a significant component of Tajikistan’s grain resource base. In 2024, cereal imports reached 1.334 million tonnes, while domestic production amounted to 1.552 million tonnes. The estimated volume of gross available grain resources was approximately 2.887 million tonnes, or 272.6 kg per capita. This is substantially higher than the indicator calculated on the basis of domestic production alone, which amounted to 146.6 kg per capita. Therefore, excluding imports from the analysis would provide an incomplete representation of the actual resource base of food supply.

At the same time, the substantial role of imports creates a tension between physical and economic sustainability. On the one hand, external supplies make it possible to compensate for insufficient domestic production. On the other hand, they increase the exposure of the food system to international market conditions, prices, exchange-rate developments, and transport and logistics risks. Therefore, the strategic objective should not be the complete substitution of imports at any cost, but rather the formation of a rational balance between improvements in domestic productivity and the use of foreign trade mechanisms to stabilize food supply.

Given the limited scope for expanding cereal-growing areas, yield growth remains the principal domestic reserve for strengthening sustainability. In this context, particular importance should be attached to improving irrigation efficiency, introducing water-saving technologies, upgrading agricultural practices, using more resilient crop varieties, reducing production losses, and adapting agricultural production to changing climatic conditions.

The proposed methodology makes it possible to quantitatively determine the level of cereal yield required to offset population growth and, when a scenario-based climate coefficient is incorporated, to estimate the additional productivity increase needed to compensate for potential climate-related losses. Thus, the economic sustainability of food supply is viewed not as a static condition, but as the capacity of the agri-food system to maintain an acceptable level of resource availability for the population under the simultaneous influence of demographic, production, foreign trade, and climatic factors.

Further research should be based on a single, internally consistent time series for 1993–2024, incorporating cereal production, harvested area, crop yields, population size, imports and exports, as well as temperature and precipitation indicators from NASA POWER. This would make it possible to move from the structural patterns identified in the present study to an econometric assessment of the sensitivity of cereal yields to climate change and to the development of food supply scenarios for Tajikistan under alternative trajectories of population growth.

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

REFERENCES:

1. **FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2025: Addressing high food price inflation for food security and nutrition.** Rome, FAO, 2025. DOI:10.4060/cd6008en.

2. **Gaforzoda B., Yuldashev R. Irrigation and drainage in the Republic of Tajikistan. Irrigation and Drainage.** 2023, vol. 72(5), pp. 1230-1240. DOI:10.1002/ird.2835.

3. **Khakimov P., Aliev J., Thomas T.S., 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. DOI:10.16997/srjed.33.

4. **Egamberdiev B., Bobojonov I., Kuhn L., et al. Consequences of increased farm resilience on food security in Tajikistan.** *Food Security,* 2026, vol. 18(2), pp. 443-464. DOI:10.1007/s12571-025-01623-8.

5. **Egamberdiev B., Bobojonov I., Kuhn L., Glauben T., Akramov K.T. Household resilience and coping strategies to food insecurity: An empirical analysis from Tajikistan.** *Applied Economic Perspectives and Policy,* 2024, vol. 46(4), pp. 1646-1661. DOI:10.1002/aepp.13422.

6. **Husenov B., Asaad S., Muminjanov H., Garkava-Gustavsson L., Johansson E. Sustainable wheat production and food security of domestic wheat in Tajikistan: Implications of seed health and protein quality.** *Int J Environ Res Public Health*, 2021, vol. 18(11), art. 5751. DOI:10.3390/ijerph18115751.

7. **Zakirova A., Alff H., Schmidt M. Cash crop or food crop? Socioeconomic and geopolitical factors affecting smallholder farmer crop selection in times of crisis in southwestern Tajikistan.** *Front Agron.,* 2023, vol. 5, 1228165. DOI:10.3389/fagro.2023.1228165.

8. **Naurzbaeva K.B., Asoev B.Kh., Abdullozoda Kh.A., Akhmedzoda ZP. Statistiko-ekonomicheskaya otsenka vliyaniya klimaticheskikh izmeneniy na prodovol'stvennuyu bezopasnost' Respubliki Tadzhikistan** [Statistical and economic assessment of the impact of climate change on food security in the Republic of Tajikistan]. *3i: intellect, idea, innovation,* 2026, 1(2), pp. 290-302. DOI:10.52269/SKVC2621290. (In Russian)

9. **World Bank. Tajikistan: Agrifood Sector and Public Expenditure Review.** Washington (DC), World Bank, 2021.

10. **Agentstvo po statistike pri Prezidente Respubliki Tadzhikistan Sel'skoe hozyajstvo v Respublike Tadzhikistan** [Agency on Statistics under the President of the Republic of Tajikistan. Agriculture in the Republic of Tajikistan 2024]. Dushanbe, Agency on Statistics, 2024. Available at: https://www.stat.tj/wp-content/uploads/2024/09/ohiron-machmuai-kishovarzi-dar-soli-2024.pdf (accessed 22 September 2026). (In Russian)

11. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: Crop production, yield, harvested area (Global, National – Annual).** Rome, FAO; 2025. Available at: https://data.fao.org/catalog/iso/d24a448b-3b62-4c09-8c1d-4a39bb599876 (accessed 22 September 2026).

12.**World Bank. World Development Indicators: Population, total – Tajikistan, indicator SP.POP.TOTL.** Washington (DC), World Bank. Available at: https://data.worldbank.org/country/tajikistan (accessed 22 September 2026).

13.**National Aeronautics and Space Administration. NASA POWER: Daily API.** Washington (DC), NASA. Available at: https://power.larc.nasa.gov (accessed 22 September 2026).

14.**Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: Detailed Trade Matrix (Global, National – Annual)**. Rome, FAO, 2025. Available at: https://data.fao.org/catalog/dataset/955a7b61-ce56-4a04-adf5-61a3012eec84 (accessed 22 September 2026).

15.**Food and Agriculture Organization of the United Nations. GIEWS Country Brief: Tajikistan**. Rome, FAO, 2026 Jun 23. Available at: https://www.fao.org/giews/countrybrief/country.jsp?code=TJK (accessed 22 September 2026).

16.**World Bank. Tajikistan's Water Sector to Benefit from Additional World Bank Support**. Washington (DC), World Bank, 2022 Jun 23. Available at:https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/06/23/tajikistans-water-sector-to-benefit-from-additional-world-bank-support (accessed 22 September 2026).

Received: 20 August 2026. **Accepted:** 10 September 2026. **Published:** 30 September 2026.

Information about the authors:

Assoyev Bakhodur Khairidinovich – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of digital economy and finance, Tajikistan University of Innovation and Digital Technologies, Republic of Tajikistan, Khatlon region, 735140, Kulob city, Borbad Str., tel.: (+992)985247082, e-mail: asoev_86@bk.ru.

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.*

Abdullozoda Khabibullo Abdullo – Senior Lecturer, Department of state language and modern foreign languages, Tajikistan University of Innovation and Digital Technologies, Republic of Tajikistan, 735360, Kulob, e-mail: habibullon@gmail.com.

Akhmedzoda Zebinisso Partov – Candidate of Pedagogical Sciences, Tajikistan University of Innovation and Digital Technologies, Republic of Tajikistan, Khatlon region, 735360, Kulob, Borbad Str., tel.: 988350555, e-mail: zebo.a26@gmail.com.

Асоев Баходур Хайридинович – экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), цифрлық экономика және қаржы факультетінің деканы, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті. Мекенжайы: 735140, Тәжікстан Республикасы, Хатлон облысы, Куляб қаласы, Борбад көшесі, e-mail: asoev_86@bk.ru, телефон: (+992)985247082.

Наурзбаева Камила Болатбекқызы – «СарыаркаАвтоПром» ЖШС «Аллюр» зауытының жаңа жобаларды іске қосу тобының жетекшісі, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

Абдуллозода Хабибулло Абдулло – «Мемлекеттік тіл және қазіргі заманғы шетел тілдері» кафедрасының аға оқытушысы, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті, Мекенжайы: 735360, Тәжікстан Республикасы, Хатлон облысы, Куляб қаласы, Борбад көшесі, e-mail: habibullon@gmail.com.

Ахмедзода Зебинисо Партов – педагогика ғылымдарының кандидаты, Тәжікстанның Инновациялар және цифрлық технологиялар университеті Мекенжайы: 735140, Тәжікстан Республикасы, Хатлон облысы, Куляб қаласы, Борбад көшесі, e-mail: zebo.a26@gmail.com, телефон: 988350555.

Асоев Баходур Хайридинович – кандидат экономических наук, доцент, декан факультета цифровой экономики и финансов, Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана Республика Таджикистан, 735140, Хатлонская область, город Куляб, улица Борбад, тел.: (+992)985247082, e-mail: asoev_86@bk.ru.

Наурзбаева Камила Болатбековна – руководитель группы запуска новых проектов, завод «Аллюр», ТОО «СарыаркаАвтоПром», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, ул. Промышленная, 41, e-mail: kamila08saveme80d@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-9646-9573.*

Абдуллозода Хабибулло Абдулло – старший преподаватель кафедры государственного языка и современных иностранных языков, Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана, Республика Таджикистан, 735360, город Куляб, e-mail: habibullon@gmail.com.

Ахмедзода Зебинисо Партов – кандидат педагогических наук, Университет инноваций и цифровых технологий Таджикистана, Республика Таджикистан, 735360, Хатлонская область, г. Куляб, ул. Борбад, тел.: 988350555, e-mail: zebo.a26@gmail.com.

МРНТИ 68.75.19
УДК 338.43
https://doi.org/10.52269/SEPT2631304

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА РАЗВИТИЯ АГРАРНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Ахметқали Т.А. – старший преподаватель кафедры экономики и финансов, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.*

Исмуратова Г.С.– доктор экономических наук, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, г. Костанай, Республика Казахстан.

Статья посвящена оценке организационно-экономического механизма развития в аграрном секторе Костанайской области – одного из ведущих зернопроизводящих регионов Республики Казахстан. Основное внимание уделено изменениям, происходящим в производственной структуре сельского хозяйства региона, финансовых результатах сельскохозяйственных предприятий и системе государственной поддержки. Исследование основано на официальных статистических и бюджетных данных за 2020–2025 гг. В работе использованы методы сравнительного, структурно-динамического и финансово-экономического анализа.

Проведённый анализ показывает, что при сохранении зерновой специализации сельского хозяйства Костанайской области структура посевов постепенно становится более диверсифицированной, прежде всего за счёт расширения площадей под масличными культурами. При этом эффективность растениеводства существенно меняется по годам, что связано как с природно-климатическими условиями, так и с изменением рыночной конъюнктуры. Существенное значение для функционирования аграрного сектора имеют и изменения в механизме государственной поддержки. В частности, изменение порядка финансирования субсидий усилило роль областного бюджета в реализации мер поддержки сельхозтоваропроизводителей. Вместе с тем сохраняются высокая зависимость регионального бюджета от трансфертов и задолженность по отдельным направлениям субсидирования, что указывает на необходимость повышения устойчивости действующей системы государственной поддержки.

Для оценки организационно-экономического механизма развития предложена система производственных, финансово-экономических и институциональных показателей. Её применение позволяет комплексно оценивать состояние аграрного сектора региона и может быть использовано при мониторинге региональной аграрной политики и обосновании направлений совершенствования государственного регулирования.

Ключевые слова: *аграрный сектор, организационно-экономический механизм, Костанайская область, субсидирование, бюджетная поддержка, сельское хозяйство.*

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ АГРАРЛЫҚ СЕКТОРЫН ДАМЫТУДЫҢ ҰЙЫМДАСТЫРУШЫЛЫҚ-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТЕТІГІН БАҒАЛАУ

Ахметқали Т.А.– экономика және қаржы кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қаласы, Қазақстан Республикасы.*

Исмуратова Г.С. – экономика ғылымдарының докторы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қаласы, Қазақстан Республикасы.

Мақала Қазақстан Республикасының жетекші астық өндіруші өңірлерінің бірі – Қостанай облысының аграрлық секторындағы шаруашылық жүргізудің ұйымдастырушылық-экономикалық тетігін бағалауға арналған. Негізгі назар өңір ауыл шаруашылығының өндірістік құрылымындағы өзгерістерге, ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының қаржылық нәтижелеріне және мемлекеттік қолдау жүйесінің ерекшеліктеріне аударылған. Зерттеу 2020–2025 жылдардағы ресми статистикалық және бюджеттік деректерге негізделген. Жұмыста салыстырмалы, құрылымдық-динамикалық және қаржы-экономикалық талдау әдістері қолданылды.

Жүргізілген талдау Қостанай облысының ауыл шаруашылығында астық өндіруге мамандану сақталғанымен, егіс құрылымының біртіндеп әртараптанып келе жатқанын көрсетті. Бұл үдеріс, ең алдымен, майлы дақылдар егіс алқаптарының кеңеюімен байланысты. Сонымен қатар өсімдік шаруашылығының тиімділігі жылдар бойынша елеулі өзгеріп отырады, оған табиғи-климаттық жағдайлармен қатар нарықтық конъюнктураның өзгеруі де әсер етеді. Аграрлық сектордың жұмыс істеуінде мемлекеттік қолдау тетігіндегі өзгерістер де маңызды рөл атқарады. Атап айтқанда, субсидияларды қаржыландыру тәртібінің өзгеруі ауыл шаруашылығы тауарын өндірушілерді қолдау шараларын іске асыруда облыстық бюджеттің рөлін күшейтті. Сонымен бірге өңірлік бюджеттің трансферттерге жоғары тәуелділігі мен субсидиялаудың жекелеген бағыттары бойынша берешектің сақталуы мемлекеттік қолдау жүйесінің тұрақтылығы мен нәтижелілігін арттыру қажеттігін көрсетеді.

Шаруашылық жүргізудің ұйымдастырушылық-экономикалық тетігін бағалау үшін өндірістік, қаржы-экономикалық және институционалдық көрсеткіштер жүйесі ұсынылды. Бұл тәсіл өңірдің аграрлық секторының жай-күйін кешенді бағалауға мүмкіндік береді және өңірлік аграрлық саясаттың нәтижелілігін мониторингілеу, сондай-ақ мемлекеттік реттеуді жетілдіру бағыттарын негіздеу барысында қолданылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: *аграрлық сектор, ұйымдастырушылық-экономикалық тетік, Қостанай облысы, субсидиялау, бюджеттік қолдау, ауыл шаруашылығы.*

ASSESSMENT OF THE ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC MECHANISM FOR THE DEVELOPMENT OF THE AGRICULTURAL SECTOR OF KOSTANAY REGION

Akhmetkali T.A. – Senior Lecturer, Department of economics and finance, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

Ismuratova G.S. – Doctor of Economic Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

The article examines the organizational and economic mechanism of agricultural sector management in Kostanay region, one of Kazakhstan's leading grain-producing regions. The study focuses on changes in the production structure of agriculture, the financial and economic performance of agricultural enterprises, and the institutional framework of government support. The analysis is based on official statistical and budget data for 2020–2025 and uses comparative, structural and dynamic, and financial and economic methods.The analysis shows that while grain production remains the dominant specialization of Kostanay region's agriculture, the cropping structure is gradually becoming more diversified, primarily due to the expansion of areas under oilseed crops. At the same time, the efficiency of crop production varies considerably across years, which is related both to natural and climatic conditions and to changes in market conditions. Changes in the mechanism of state support are also of significant importance for the functioning of the agricultural sector. In particular, changes in the procedure for financing subsidies have increased the role of the regional budget in implementing support measures for agricultural producers. Concurrently, the high dependence of the regional budget on transfers and outstanding debt in certain areas of subsidization persist, which indicates the need to improve the stability of the existing system of state support.

A system of production, financial-economic, and institutional indicators is proposed for assessing the organizational and economic mechanism of development. Its application allows for a comprehensive assessment of the state of the region's agricultural sector and can be used in monitoring regional agricultural policy and substantiating directions for improving government regulation.

Keywords: *agricultural sector, organizational and economic mechanism, Kostanay region, subsidies, budget support, agriculture.*

Введение

Аграрный сектор Костанайской области традиционно занимает значимое место в сельском хозяйстве Республики Казахстан. Регион относится к основным зернопроизводящим территориям страны и сохраняет выраженную специализацию на производстве зерновых культур. Вместе с тем в 2020–2025 гг. развитие аграрного сектора происходило в условиях изменчивости производственных и финансовых результатов, диверсификации структуры посевных площадей и трансформации отдельных инструментов государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Теоретической основой исследования выступает институциональный подход Д. Норта, согласно которому институты формируют систему ограничений и стимулов экономического поведения и тем самым оказывают существенное влияние на результаты функционирования экономических систем [1]. Применительно к аграрному сектору Казахстана вопросы эволюции государственной аграрной политики и изменения механизмов регулирования рассмотрены A. Baubekova, A. Tikhonova и A. Kvasha [2]. В современных исследованиях особое внимание уделяется взаимосвязи государственной аграрной политики и технической эффективности сельскохозяйственного производства. A. Tleubayev, I. Bobojonov и L. Götz исследуют влияние аграрной политики на эффективность производства пшеницы в Казахстане и России [3]. В работе G. Siximbayeva и соавторов рассматривается эффективность субсидирования сельского хозяйства Казахстана [4], а A. Tleubayev и Y. Syzdykov анализируют техническую эффективность производства пшеницы в Казахстане в контексте стран Центральной Азии [5].

Современная научная литература также расширяет оценку аграрного развития за счет исследования устойчивости отрасли, формирования добавленной стоимости и факторов производительности. В частности, A. Tleubayev и соавторы рассматривают устойчивость и перспективы развития аграрного сектора Казахстана с позиций создания валовой добавленной стоимости [6]. L. Zhang и соавторы исследуют влияние человеческого капитала на совокупную факторную производительность сельского хозяйства Казахстана с учетом региональной неоднородности [7]. Данные исследования подтверждают необходимость комплексного подхода к оценке развития аграрного сектора, учитывающего не только

объемы производства и государственной поддержки, но также эффективность использования ресурсов и институциональные условия.

В отечественной и российской научной литературе организационно-экономический механизм аграрного сектора рассматривается как совокупность экономических, организационных и административно-правовых инструментов, обеспечивающих функционирование и развитие сельского хозяйства. Д.В. Паршуков и Д.В. Ходос определяют организационно-экономический механизм как систему экономических и административно-правовых рычагов воздействия и форм организации социально-производственных процессов [8]. Е.В. Гинтер при исследовании регионального аграрного сектора акцентирует внимание на институциональных и экономических элементах механизма и необходимости выявления направлений его совершенствования [9].

В проанализированной научной литературе недостаточно представлены исследования, в которых применительно к Костанайской области одновременно рассматриваются производственные, финансово-экономические и институциональные составляющие данного механизма. В частности, актуальным является совместное рассмотрение производственных результатов, финансово-экономической эффективности, бюджетной поддержки и институциональных условий ее реализации. Научная значимость исследования состоит в адаптации комплексного многокритериального подхода к условиям Костанайской области и совместном анализе производственной, финансово-экономической и институциональной составляющих регионального организационно-экономического механизма.

Целью исследования является комплексная оценка функционирования организационно-экономического механизма развития аграрного сектора Костанайской области на основе анализа производственных, финансово-экономических и институциональных показателей с использованием официальных статистических, бюджетных и нормативно-правовых данных за 2020–2025 гг.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: проанализировать динамику и структурные изменения аграрного производства региона; оценить финансово-экономические результаты сельскохозяйственного производства; исследовать действующие инструменты бюджетной и кредитной поддержки; определить институциональные особенности субсидирования агропромышленного комплекса; сформировать систему показателей комплексной оценки организационно-экономического механизма аграрного сектора Костанайской области.

Материалы и методы

Информационную базу исследования составили официальные материалы Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, включая данные о развитии растениеводства, животноводства и финансово-экономических результатах сельскохозяйственных предприятий [10–12]. Для анализа бюджетной составляющей использованы решения Костанайского областного маслихата об областном бюджете на соответствующие периоды [13–16].

Институциональные параметры государственной поддержки исследованы на основе официальных материалов Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, нормативных правовых актов и информации акимата Костанайской области. В частности, использованы данные о финансировании агропромышленного комплекса Костанайской области в 2025 г. [17], нормативные положения, регулирующие субсидирование в растениеводстве [18], сведения о распределении полномочий между центральными и местными исполнительными органами в сфере субсидирования [19], официальная информация о задолженности по субсидиям [20; 21], а также положения законодательства Республики Казахстан о государственном регулировании развития агропромышленного комплекса и сельских территорий [22].

Основной период исследования охватывает 2020–2025 гг. Для характеристики долгосрочных структурных изменений отдельные показатели рассматриваются ретроспективно в пределах временной глубины официально опубликованных статистических рядов. При отсутствии официального значения по отдельному показателю его реконструкция, интерполяция или замещение оценочными данными не производились.

В исследовании применены методы динамического, сравнительного и структурного анализа, статистической группировки, коэффициентного анализа, а также анализа нормативных правовых и программных документов. Динамический анализ использован для выявления изменений производственных и финансово-экономических показателей во времени. Структурный анализ применен при оценке трансформации посевных площадей и структуры доходов и расходов областного бюджета. Сравнительный метод использован для сопоставления показателей Костанайской области по отдельным периодам и оценки изменений результативности аграрного производства.

Анализ организационно-экономического механизма осуществляется на трех взаимосвязанных уровнях. Макроуровень включает нормативно-правовые основы государственной аграрной политики, общереспубликанские механизмы субсидирования, кредитования и распределения бюджетных полномочий. Мезоуровень характеризует реализацию государственной аграрной политики в Костанайской области, включая бюджетное финансирование, региональные меры поддержки и деятельность местных исполнительных органов. Микроуровень отражает результаты деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей, представленные агрегированными статистическими показателями сельскохозяйственных предприятий региона.

Для оценки функционирования организационно-экономического механизма сформирована система показателей, объединённых в три группы. Производственная составляющая характеризуется структурными изменениями в растениеводстве и динамикой результатов сельскохозяйственного производства. Финансово-экономическая группа включает показатели рентабельности сельскохозяйственного производства, объёмы бюджетного финансирования и льготного кредитования, а также отдельные направления государственной поддержки. Институциональная группа характеризует структуру доходов областного бюджета, его зависимость от межбюджетных трансфертов, распределение полномочий между центральными и местными исполнительными органами и наличие задолженности по отдельным направлениям субсидирования.

Методологическим принципом исследования является использование только тех количественных показателей, которые подтверждаются официальными статистическими, бюджетными или нормативно-правовыми источниками. Такой подход позволяет исключить влияние непроверенных оценок и обеспечить сопоставимость используемой эмпирической информации.

Оценка результативности организационно-экономического механизма в настоящем исследовании носит многокритериальный диагностический характер. В связи с различной экономической природой производственных, финансово-экономических и институциональных показателей, а также отсутствием нормативно установленных пороговых значений их агрегирование в единый интегральный показатель не осуществлялось. Результативность механизма определялась на основе анализа динамики и соотношения указанных показателей, а также выявления факторов, способствующих либо ограничивающих устойчивое развитие аграрного сектора региона.

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ свидетельствует о сохранении зерновой специализации сельского хозяйства Костанайской области при одновременном усилении диверсификации растениеводства. В структуре посевных площадей наряду с зерновыми культурами возрастает роль масличных культур, что отражает постепенную корректировку отраслевой структуры растениеводства региона [10]. При интерпретации динамики необходимо учитывать, что оперативные сведения посевной и уборочной кампаний могут отличаться от итоговых статистических данных, поэтому в исследовании используются официально опубликованные показатели.

Одной из характерных особенностей развития растениеводства является значительная межгодовая изменчивость финансовых результатов. Рентабельность производства продукции растениеводства в сельскохозяйственных предприятиях Костанайской области составила 50,5% в 2020 г., 54,9% в 2021 г., 75,7% в 2022 г. и 30,4% в 2023 г. [12]. Такая динамика свидетельствует о высокой чувствительности результатов аграрного производства к урожайности, рыночной конъюнктуре, уровню производственных затрат и другим внешним и внутренним факторам. Следовательно, результативность организационно-экономического механизма нецелесообразно оценивать на основании показателей отдельного года.

Существенным элементом организационно-экономического механизма аграрного сектора остается государственная финансовая поддержка. В 2025 г. на развитие агропромышленного комплекса Костанайской области было направлено 207 млрд тенге, в том числе 47,3 млрд тенге на субсидирование затрат сельскохозяйственных товаропроизводителей и 62 млрд тенге на льготное кредитование [17]. Наряду с этим совершенствуются отдельные инструменты поддержки растениеводства. С 2024 г. Применяется механизм авансового субсидирования отечественных минеральных удобрений, предусматривающий в установленных Правилами случаях норматив субсидирования в размере 60% фактической стоимости приобретённых удобрений без учёта НДС [18].

Для оценки финансовой составляющей организационно-экономического механизма проведён сравнительный анализ расходов областного бюджета на сельское хозяйство и отдельных направлений государственной поддержки в контрольные годы. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика отдельных показателей расходов областного бюджета Костанайской области на сельское хозяйство в 2010–2025 гг.

Показатели	2010	2015	2020	2025
Затраты областного бюджета, всего	90 484,50	129 783,00	265 804,50	526 836,30
Расходы по функциональной подгруппе «Сельское хозяйство», всего	3 012,60	17 620,30	40 359,40	45 238,00
Расходы на сельское хозяйство в % к общим затратам областного бюджета	3,33	13,58	15,18	8,59
Поддержка семеноводства	373,7	665,2	2 958,20	2 662,90
Субсидирование стоимости удобрений	н/д	395,9	3 588,00	3 085,00
Субсидирование средств защиты растений / пестицидов	н/д	2 849,70	7 060,10	4 702,70

Продолжение таблицы 1

Субсидирование развития племенного животноводства, повышения продуктивности и качества продукции животноводства	статьи учитывались раздельно	4 608,30	6 087,30	5 700,00
Субсидирование процентных ставок по кредитам и лизингу	н/д	н/д	4 260,10	8 095,40
Расходы областного управления ветеринарии	н/д	172,5	1 568,40	4 038,00

Примечание: н/д – сопоставимое отдельное значение в соответствующей бюджетной классификации отсутствует; в 2010 г. отдельные направления поддержки животноводства учитывались раздельно. Источник: составлено авторами по данным [13–16].

Представленные данные свидетельствуют об увеличении номинального объёма расходов областного бюджета при одновременном изменении структуры финансирования сельского хозяйства. Доля расходов по функциональной подгруппе «Сельское хозяйство» в общих затратах областного бюджета составила 3,33% в 2010 г., 13,58% в 2015 г., 15,18% в 2020 г. и 8,59% в 2025 г. При этом прямое сопоставление отдельных направлений бюджетной поддержки за длительный период требует осторожности вследствие изменений бюджетной классификации и состава программ [13–16].

Особое значение при оценке институциональной составляющей организационно-экономического механизма имеют изменения в финансировании субсидий. С 2023 г. расходы на соответствующие направления поддержки агропромышленного комплекса включаются в состав трансфертов общего характера и финансируются через областные бюджеты, тогда как формирование государственной политики субсидирования сохраняется за Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан, а непосредственное предоставление субсидий осуществляется местными исполнительными органами [19]. Такое распределение полномочий усиливает роль финансовой обеспеченности регионального уровня при практической реализации государственной аграрной политики.

Анализ параметров областного бюджета Костанайской области на 2025 г. показывает значительную роль межбюджетных трансфертов. По уточненным параметрам бюджета доходы составляют около 520,3 млрд тенге, затраты – 526,8 млрд тенге, а объем трансфертов – около 482,2 млрд тенге [16]. Налоговые и неналоговые поступления, а также поступления от продажи основного капитала в совокупности составляют около 38,1 млрд тенге. Это характеризует высокую зависимость финансовых возможностей областного бюджета от действующей системы межбюджетного перераспределения [16].

На фоне изменения механизма финансирования сохраняется проблема задолженности по отдельным направлениям государственной поддержки. По официальной информации Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, Костанайская область наряду с Акмолинской и Северо-Казахстанской областями относится к регионам со значительным совокупным объемом задолженности по субсидиям [20]. Вопросы ее поэтапного погашения также рассматривались в рамках рабочих мероприятий в Костанайской области в 2025 г. [21].

Вместе с тем наличие задолженности само по себе не позволяет сделать вывод о ее прямой причинной связи с изменением механизма межбюджетного финансирования. Для установления такой зависимости необходим дополнительный анализ динамики бюджетных назначений, объемов принятых обязательств, поступивших заявок сельскохозяйственных товаропроизводителей и фактических сроков финансирования.

На основе положений законодательства Республики Казахстан и рассмотренных финансовых и институциональных инструментов систематизированы основные структурные элементы организационно-экономического механизма аграрного сектора. Представленная систематизация характеризует институциональную структуру действующего механизма государственного регулирования, тогда как количественная оценка в настоящем исследовании сосредоточена на тех его составляющих, по которым имеются сопоставимые официальные статистические и бюджетные данные [17–22].

Таблица 2 – Структурные элементы организационно-экономического механизма аграрного сектора

Элементы	Характеристика
Регулирование цен и агропродовольственного рынка	Осуществляется посредством механизмов стабилизации цен на социально значимые продовольственные товары, формирования регионального стабилизационного фонда, товарных интервенций, форвардного закупа и применения «оборотной схемы» льготного финансирования производителей и торговых организаций в обмен на обязательства по реализации продукции по установленным ценовым параметрам. В Костанайской области данные механизмы реализуются при участии местных исполнительных органов и региональной социально-предпринимательской корпорации.

Продолжение таблицы 2

Бюджетное субсидирование сельскохозяйственного производства	Является одним из основных инструментов государственной поддержки АПК. Включает субсидирование отдельных направлений растениеводства и животноводства, приобретения семян, удобрений и средств защиты растений, племенного животноводства, инвестиционных затрат, процентных ставок по кредитным и лизинговым обязательствам и других направлений, предусмотренных законодательством. В 2025 г. на субсидирование затрат сельхозтоваропроизводителей Костанайской области было направлено 47,3 млрд тенге.
Льготное кредитование сельхозтоваро-производителей	Предназначено для обеспечения хозяйств оборотными и инвестиционными ресурсами, финансирования весенне-полевых и уборочных работ, приобретения основных средств и реализации инвестиционных проектов. В 2025 г. объём льготного кредитования АПК Костанайской области составил 62 млрд тенге. Финансирование сезонных полевых работ также осуществляется через специализированные программы, в том числе через региональные финансовые институты.
Субсидирование кредитных и лизинговых обязательств	Государственная поддержка предусматривает удешевление ставок вознаграждения по кредитам субъектов АПК и лизингу сельскохозяйственной техники и технологического оборудования. Данный инструмент снижает фактическую стоимость привлечённого капитала и способствует техническому обновлению производства.
Гарантирование кредитов	Механизм направлен на расширение доступа сельскохозяйственных товаропроизводителей к заёмному финансированию при недостаточности залогового обеспечения. Законодательством предусмотрено субсидирование части комиссии по гарантии по кредитам, используемым для инвестиций, пополнения оборотных средств, приобретения животных, сельскохозяйственной техники и технологического оборудования.
Страхование сельскохозяйственных рисков	Государственная поддержка страхования в АПК осуществляется посредством субсидирования страховых премий. Страхование организовано с использованием цифровой системы и направлено на снижение финансовых последствий производственных и природно-климатических рисков для субъектов аграрного сектора.
Инвестиционная поддержка и развитие производственной инфраструктуры	Предусматривает возмещение части расходов субъектов АПК при инвестиционных вложениях, а также финансирование приоритетных проектов по строительству и модернизации сельскохозяйственных и перерабатывающих объектов. В Костанайской области региональные институты развития участвуют, в частности, в финансировании молочно-товарных ферм и других проектов АПК.
Техническое и технологическое обеспечение	Государственное регулирование предусматривает создание условий для технического оснащения АПК, обновления сельскохозяйственной техники и технологического оборудования, внедрения современных производственных технологий. Экономическими инструментами выступают инвестиционное субсидирование, льготное кредитование и субсидирование лизинговых обязательств.
Ветеринарно-санитарное и фитосанитарное регулирование	Включает государственный ветеринарно-санитарный, карантинный фитосанитарный и фитосанитарный контроль, профилактику и ликвидацию особо опасных болезней животных, мероприятия по защите растений, а также предусмотренное законодательством возмещение ущерба при изъятии и уничтожении опасных животных и продукции.
Информационное и цифровое обеспечение	Предусматривает формирование информационно-маркетинговой системы АПК, обеспечение сельхозтоваропроизводителей данными агрометеорологического и космического мониторинга, развитие цифровых информационных систем, оказание электронных государственных услуг, проведение сельскохозяйственных переписей и распространение специализированной информации.
Научное и кадровое обеспечение	Включает проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, подготовку и переподготовку кадров, распространение и внедрение научных разработок, интеграцию науки, образования и производства, а также разработку технологий адаптации сельского хозяйства к изменению климатических условий.

Продолжение таблицы 2

Развитие сельских территорий	Организационно-экономический механизм АПК включает инвестиции в социальную и инженерную инфраструктуру сельских территорий, повышение экономического потенциала сельских населённых пунктов и создание условий для занятости и предпринимательской деятельности сельского населения. Данное направление дополняет непосредственно производственные меры поддержки аграрного сектора.
Институционально-бюджетное регулирование	Формирование государственной аграрной политики и правил предоставления мер поддержки осуществляется на республиканском уровне, тогда как значительная часть непосредственного предоставления субсидий реализуется местными исполнительными органами. С 2023 г. Финансирование ряда направлений субсидирования АПК включено в трансферты общего характера и осуществляется через областные бюджеты, что усиливает роль регионального уровня в практической реализации государственной поддержки сельского хозяйства.

Таким образом, оценка организационно-экономического механизма аграрного сектора Костанайской области должна основываться не на отдельном производственном или финансовом показателе, а на совокупности взаимосвязанных параметров. Производственные результаты характеризуют фактическую динамику отрасли; финансово-экономические показатели отражают результативность деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей и масштабы государственной поддержки; институциональные показатели позволяют оценить условия реализации соответствующих мер и финансовые возможности регионального уровня управления.

Такой подход согласуется с современными исследованиями аграрного сектора Казахстана, в которых эффективность государственной поддержки рассматривается во взаимосвязи с производительностью, технической эффективностью, институциональными условиями и структурными особенностями сельскохозяйственного производства [3–7]. Предлагаемая система производственных, финансово-экономических и институциональных показателей позволяет адаптировать данные подходы к региональной специфике Костанайской области и использовать их при мониторинге результативности аграрной политики.

Полученные результаты свидетельствуют о неоднородности функционирования отдельных составляющих организационно-экономического механизма аграрного сектора Костанайской области. Положительными тенденциями являются диверсификация структуры растениеводства, значительный объём государственной поддержки в 2025 г. и наличие инструментов льготного финансирования. Вместе с тем существенная межгодовая изменчивость рентабельности, высокая зависимость областного бюджета от межбюджетных трансфертов и наличие задолженности по отдельным направлениям субсидирования выступают факторами, ограничивающими устойчивость механизма. Следовательно, действующий организационно-экономический механизм обеспечивает необходимые инструменты поддержки аграрного сектора, однако его результативность определяется не только масштабами финансирования, но и стабильностью производственных результатов, финансовой обеспеченностью регионального уровня и своевременностью исполнения бюджетных обязательств.

Заключение

Проведённое исследование организационно-экономического механизма развития аграрного сектора Костанайской области позволяет сформулировать ряд выводов.

Во-первых, сельское хозяйство региона сохраняет выраженную зерновую специализацию, однако в структуре посевных площадей усиливаются процессы диверсификации. Наряду с зерновыми культурами расширяются площади масличных культур, что свидетельствует о постепенном изменении отраслевой структуры растениеводства и формировании более диверсифицированной модели сельскохозяйственного производства [10].

Во-вторых, финансово-экономические результаты сельскохозяйственного производства характеризуются значительной межгодовой изменчивостью. Рентабельность производства продукции растениеводства в сельскохозяйственных предприятиях Костанайской области составила 50,5% в 2020 г., 54,9% в 2021 г., 75,7% в 2022 г. и 30,4% в 2023 г. [12]. Такая динамика свидетельствует о высокой чувствительности финансовых результатов аграрного производства к урожайности, ценовой конъюнктуре, производственным затратам и другим внешним и внутренним факторам.

В-третьих, существенное значение для функционирования организационно-экономического механизма имеют изменения системы бюджетного финансирования государственной поддержки агропромышленного комплекса. С 2023 г. расходы на отдельные направления субсидирования включаются в состав трансфертов общего характера и финансируются через областные бюджеты, тогда как формирование государственной политики в данной сфере сохраняется за Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан, а непосредственное предоставление субсидий осуществляется местными исполнительными органами [19].

Анализ параметров областного бюджета свидетельствует о высокой роли межбюджетных трансфертов в формировании его доходной базы. По уточнённым параметрам бюджета Костанайской области на 2025 г. трансферты составляют около 482,2 млрд тенге при общем объёме доходов 520,3 млрд тенге. Налоговые, неналоговые поступления и поступления от продажи основного капитала в совокупности составляют около 38,1 млрд тенге [16]. Такое соотношение свидетельствует о существенной зависимости финансовых возможностей областного уровня управления от действующего механизма межбюджетного перераспределения.

Одновременно сохраняется проблема задолженности по отдельным направлениям субсидирования агропромышленного комплекса. Официальные материалы свидетельствуют, что Костанайская область относится к числу регионов со значительным объёмом задолженности по субсидиям [20; 21]. Вместе с тем наличие задолженности само по себе не позволяет однозначно рассматривать её возникновение как прямое следствие изменения механизма межбюджетного финансирования. Для установления такой причинной связи необходим дополнительный анализ динамики бюджетных назначений, объёмов принятых обязательств, заявок сельскохозяйственных товаропроизводителей и фактических сроков финансирования.

Таким образом, результативность функционирования организационно-экономического механизма аграрного сектора Костанайской области определяется совокупным воздействием производственных, финансово-экономических и институциональных факторов. Предложенная система показателей, объединённых в три соответствующие группы, позволяет комплексно оценивать результаты функционирования механизма и выявлять ограничения его развития.

Практическое значение предложенного подхода заключается в возможности его использования при мониторинге региональной аграрной политики, оценке результативности мер государственной поддержки и обосновании решений по совершенствованию взаимодействия республиканского и местного уровней управления. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка интегральной оценки эффективности организационно-экономического механизма с учётом динамики производственных результатов, финансовой устойчивости сельскохозяйственных товаропроизводителей, объёмов государственной поддержки и своевременности исполнения бюджетных обязательств.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **North D.C. Institutions, Institutional Change and Economic Performance.** – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 152 p. – DOI: 10.1017/CBO9780511808678.

2. **Baubekova A., Tikhonova A., Kvasha A. Evolution of Agricultural Policy in Kazakhstan** // Kazakhstan's Developmental Journey: Entrenched Paradigms, Achievements, and the Challenge of Global Competitiveness. – Singapore: Springer, 2020. – P. 51–90. – DOI: 10.1007/978-981-15-6899-2_3.

3. **Tleubayev A., Bobojonov I., Götz L. Agricultural Policies and Technical Efficiency of Wheat Production in Kazakhstan and Russia:** Evidence from a Stochastic Frontier Approach // Journal of Agricultural and Applied Economics. – 2022. – Vol. 54, № 3. – P. 407–421. – DOI: 10.1017/aae.2022.13.

4. **Siximbayeva G., Shayakhmetova K., Yernazarova U., Ruzanov R. Efficiency of Agriculture Subsidies in Kazakhstan** // Central European Journal of Public Policy. – 2025. – Vol. 19, № 1. – P. 22–37. – DOI: 10.2478/cejpp-2025-0003.

5. **Tleubayev A., Syzdykov Y. Technical Efficiency of Wheat Production in Central Asia: Empirical Evidence From Kazakhstan** // Journal of Asian and African Studies. – 2026. – Vol. 61, № 2. – P. 1656–1667. – DOI: 10.1177/00219096251318251.

6. **Tleubayev A., Kerimkhulle S., Tleuzhanova M., Uchkampirova A., Bulakbay Z., Mugauina R., Tazhibayeva Z., Adalbek A., Iskakov Y., Toleubay D. Econometric Analysis of the Sustainability and Development of an Alternative Strategy to Gross Value Added in Kazakhstan's Agricultural Sector** // Econometrics. – 2024. – Vol. 12, № 4. – Art. 29. – DOI: 10.3390/econometrics12040029.

7. **Zhang L., Kozik K., Sang Y., Zhang M. Rural Human Capital and Agricultural Total Factor Productivity in Kazakhstan: Regional Heterogeneity and the Moderating Role of Script Transition** // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2026. – Vol. 10. – Art. 1768732. – DOI: 10.3389/fsufs.2026.1768732.

8. **Паршуков Д.В., Ходос Д.В. Организационно-экономический механизм развития аграрного сектора** // Эпоха науки. – 2015. – № 4. – С. 94–99.

9. **Гинтер Е.В. Совершенствование организационно-экономического механизма хозяйствования в аграрном секторе Магаданской области** // Вектор экономики. – 2017. – № 6 (12).

10. **Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Динамика растениеводства Костанайской области за 1990–2025 гг.** [Электронный ресурс]. – URL: https://stat.gov.kz/ru/region/kostanay/dynamic-tables/1485/ [дата обращения: 16.09.2026].

11. **Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан.** Численность скота и птицы и производство основных видов

продукции животноводства по Костанайской области [Электронный ресурс]. -URL: https://stat.gov.kz/ru/region/kostanay/dynamic-tables/1485/ [дата обращения: 06.09.2026].

12.**Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Сельское, лесное и рыбное хозяйство в Республике Казахстан. 2019–2023:** статистический сборник. – Астана, 2024. [Электронный ресурс]. -URL: https://stat.gov.kz/ru/publication/collections/?name=17199 [дата обращения: 06.09.2026].

13.**Решение Костанайского областного маслихата от 20 декабря 2009 года № 243 «Об областном бюджете Костанайской области на 2010–2012 годы»** [Электронный ресурс]. -URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V09N0003700 [дата обращения: 06.09.2026].

14.**Решение Костанайского областного маслихата от 12 декабря 2014 года № 354 «Об областном бюджете Костанайской области на 2015–2017 годы»** [Электронный ресурс]. -URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V14N0005237 [дата обращения: 06.09.2026].

15.**Решение Костанайского областного маслихата от 18 декабря 2019 года № 454 «Об областном бюджете Костанайской области на 2020–2022 годы»** [Электронный ресурс]. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V19N0008827 [дата обращения: 07.09.2026].

16.Решение Костанайского областного маслихата от 17 декабря 2024 года № 185 «Об областном бюджете Костанайской области на 2025–2027 годы» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/G24N000185M [дата обращения: 07.09.2026].

17.**Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. Костанайская область приступила к уборочной кампании** [Электронный ресурс]. -URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/1051605?lang=ru [дата обращения: 07.09.2026].

18.**Приказ и.о. Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 20 июня 2024 года № 208 «О внесении изменений и дополнений в приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 марта 2020 года № 107 "Об утверждении Правил субсидирования повышения урожайности и качества продукции растениеводства"».** Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 20 июня 2024 года № 34533 [Электронный ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2400034533 [дата обращения: 07.09.2026].

19.**Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. Касательно субсидирования агропромышленного комплекса** [Электронный ресурс]. -URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/1170443?lang=ru [дата обращения: 07.09.2026].

20.**Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. В Казахстане продолжается поэтапное погашение задолженности по субсидиям** [Электронный ресурс]. -URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/1097328?lang=ru [дата обращения: 07.09.2026].

21.**Акимат Костанайской области. Визит Вице-министра сельского хозяйства Республики Казахстан А.С. Султанова в Костанайскую область** [Электронный ресурс]. – 15 апреля 2025 г. – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/kostanay/press/article/details/201028 [дата обращения: 07.09.2026].

22.**Закон Республики Казахстан от 8 июля 2005 года № 66-III «О государственном регулировании развития агропромышленного комплекса и сельских территорий»** [Электронный ресурс]. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z050000066 [дата обращения: 07.09.2026].

REFERENCES:

1. **North D.C. Institutions, Institutional Change and Economic Performance.** Cambridge, Cambridge University Press, 1990. 152 p. DOI: 10.1017/CBO9780511808678.

2. **Baubekova A., Tikhonova A., Kvasha A. Evolution of agricultural policy in Kazakhstan**. Kazakhstan's Developmental Journey: Entrenched Paradigms, Achievements, and the Challenge of Global Competitiveness, Singapore, Springer, 2020. pp. 51–90. DOI: 10.1007/978-981-15-6899-2_3.

3. **Tleubayev A., Bobojonov I., Götz L. Agricultural policies and technical efficiency of wheat production in Kazakhstan and Russia: Evidence from a stochastic frontier approach.** *Journal of Agricultural and Applied Economics,* 2022, vol. 54(3), pp. 407–421. DOI: 10.1017/aae.2022.13.

4. **Siximbayeva G, Shayakhmetova K, Yernazarova U, Ruzanov R. Efficiency of agriculture subsidies in Kazakhstan.** *Central European Journal of Public Policy,* 2025, vol. 19(1), pp. 22–37. DOI: 10.2478/cejpp-2025-0003.

5. **Tleubayev A, Syzdykov Y. Technical efficiency of wheat production in Central Asia: Empirical evidence from Kazakhstan.** *Journal of Asian and African Studies,* 2026, vol. 61(2), pp. 1656–1667. DOI: 10.1177/00219096251318251.

6. **Tleubayev A., Kerimkhulle S., Tleuzhanova M, et al. Econometric analysis of the sustainability and development of an alternative strategy to gross value added in Kazakhstan's agricultural sector.** *Econometrics*, 2024, vol. 12(4), art. 29. DOI: 10.3390/econometrics12040029.

7. **Zhang L., Kozik K., Sang Y., Zhang M. Rural human capital and agricultural total factor productivity in Kazakhstan: Regional heterogeneity and the moderating role of script transition.** *Frontiers in Sustainable Food Systems,* 2026, vol. 10, art. 1768732. DOI: 10.3389/fsufs.2026.1768732.

8. **Parshukov D.V., Hodos D.V. Organizacionno-e'konomicheskij mehanizm razvitiya agrarnogo sektora** [Organizational and economic mechanism for the development of the agricultural sector]. Epoha nauki, 2015, vol. (4), pp. 94–99. (In Russian)

9. **Ginter E.V. Sovershenstvovanie organizacionno-e'konomicheskogo mehanizma hozyajstvovaniya v agrarnom sektore Magadanskoj oblasti** [Improvement of the organizational and economic management mechanism in the agricultural sector of the Magadan region]. *Vektor e'konomiki,* 2017, vol. 6(12). (In Russian)

10. **Byuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. Dinamika rastenievodstva Kostanajskoj oblasti za 1990–2025 gg.** [Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Dynamics of crop production in Kostanay Region for 1990–2025.]. Available at: https://stat.gov.kz/ru/region/kostanay/dynamic-tables/1485/ (accessed 06 September 2026). (In Russian)

11. **Byuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. Chislennost' skota i pticy' i proizvodstvo osnovny'h vidov produkcii zhivotnovodstva po Kostanaiskoj oblasti** [Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Number of livestock and poultry and production of main livestock products in Kostanay Region]. Available at: https://stat.gov.kz/ru/region/kostanay/dynamic-tables/1485/ (accessed 06 September 2026). (In Russian)

12.**Byuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. Sel'skoe, lesnoe i ry'bnoe hozyaostvo v Respublike Kazahstan. 2019–2023: statisticheskio sbornik** [Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Agriculture, forestry and fisheries in the Republic of Kazakhstan. 2019–2023: statistical collection]. Astana; 2024. Available at: https://stat.gov.kz/ru/publication/collections/?name=17199 (accessed 06 September 2026). (In Russian)

13.**Reshenie Kostanajskogo oblastnogo maslihata ot 20 dekabrya 2009 goda No. 243 «Ob oblastnom byudzhete Kostanajskoj oblasti na 2010–2012 gody'»** [Decision of the Kostanay Regional Maslikhat dated December 20, 2009 No. 243 “On the regional budget of Kostanay Region for 2010–2012”]. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V09N0003700 (accessed 06 September 2026). (In Russian)

14.**Reshenie Kostanajskogo oblastnogo maslikhata ot 12 dekabrya 2014 goda No. 354 «Ob oblastnom byudzhete Kostanajskoj oblasti na 2015–2017 gody'»** [Decision of the Kostanay Regional Maslikhat dated December 12, 2014 No. 354 “On the regional budget of Kostanay Region for 2015–2017”]. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V14N0005237 (accessed 06 September 2026). (In Russian)

15.**Reshenie Kostanajskogo oblastnogo maslihata ot 18 dekabrya 2019 goda No. 454 «Ob oblastnom byudzhete Kostanajskoj oblasti na 2020–2022 gody'»** [Decision of the Kostanay Regional Maslikhat dated December 18, 2019 No. 454 “On the regional budget of Kostanay Region for 2020–2022”]. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V19N0008827 (accessed 06 September 2026). (In Russian)

16.**Reshenie Kostanajskogo oblastnogo maslihata ot 17 dekabrya 2024 goda No. 185 «Ob oblastnom byudzhete Kostanajskoj oblasti na 2025–2027 gody'»** [Decision of the Kostanay Regional Maslikhat dated December 17, 2024 No. 185 “On the regional budget of Kostanay Region for 2025–2027”]. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/G24N000185M (accessed 06 September 2026). (In Russian)

17. **Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan. Kostanajskaya oblast' pristupila k uborochnoj kampanii** [Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan**.** Kostanay region has started the harvesting campaign]. Available at: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/ 1051605? lang=ru (accessed 06 September 2026). (In Russian)

18.**Prikaz i.o. Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan ot 20 iyunya 2024 goda № 208 «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v prikaz Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan ot 30 marta 2020 goda № 107 “Ob utverzhdenii Pravil subsidirovaniya povy'sheniya urozhajnosti i kachestva produkcii rastenievodstva”».** [Order of the Acting Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated June 20, 2024 No. 208 "On Amendments and Additions to the Order of the Minister of Agriculture of the Republic of Kazakhstan dated March 30, 2020 No. 107 "On Approval of the Rules for Subsidizing crop Yield and Quality Improvement"]. Registered with the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan on June 20, 2024 No. 34533. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2400034533 (accessed 06 September 2026). (In Russian)

19.**Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan. Kasatel'no subsidirovaniya agropromy'shlennogo kompleksa** [Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan Regarding subsidization of the agro-industrial complex]. Available at: https://www.gov.kz/memleket/entities/moa/press/news/details/ 1170443?lang=ru (accessed 06 September 2026). (In Russian)

20.**Ministerstvo sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan**. **V Kazahstane prodolzhaetsya poe'tapnoe pogashenie zadolzhennosti po subsidiyam** [Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Kazakhstan continues phased repayment of subsidy arrears]. Available at: https://www.gov.kz/ memleket/entities/moa/press/news/details/1097328?lang=ru (accessed 06 September 2026). (In Russian)

21.**Akimat Kostanajskoj oblasti. Vizit Vitse-ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan A.S. Sultanova v Kostanajskuyu oblast** [Akimat of Kostanay region. Visit of Vice Minister of Agriculture of

the Republic of Kazakhstan A.S. Sultanov to Kostanay Region]. 2025 Apr 15. Available at: https://www.gov.kz/memleket/entities/kostanay/press/article/details/201028 (accessed 06 September 2026). (In Russian)

22.**Zakon Respubliki Kazahstan ot 8 iyulya 2005 goda No. 66-III «O gosudarstvennom regulirovanii razvitiya agropromy'shlennogo kompleksa i selskih territorij»** [Law of the Republic of Kazakhstan dated July 8, 2005 No. 66-III "On state regulation of the development of the agro-industrial complex and rural areas"]. Available at: https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z050000066 (accessed 06 September 2026). (In Russian)

Дата поступления: 17 августа 2026 г. **Принято:** 07 сентября 2026 г.
Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Ахметқали Таңсұлу Амангелдіқызы – старший преподаватель кафедры экономики и финансов, Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы; 110000 ул. Байтурсынова, 47, г.Костанай, Казахстан; e-mail: ahmetkali.ta@ksu.edu.kz; https://orcid.org/0000-0001-9494-7411.*

Исмуратова Галия Суиндиковна – доктор экономических наук; профессор кафедры «Бухгалтерский учет и управление»; Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы; 110000 ул. Байтурсынова, 47, г.Костанай, Казахстан; e-mail: ismuratova.gs@ksu.edu.kz; https://orcid.org/0000-0002-1834-1968.

Ахметқали Таңсұлу Амангелдіқызы – экономика және қаржы кафедрасының аға оқытушысы, 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.*

Исмуратова Ғалия Суиндикқызы – экономика ғылымдарының докторы; Бухгалтерлік есеп және басқару кафедрасының профессоры; Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті; 110000 А.Байтұрсынов көш., 47, Қостанай қ., Қазақстан; e-mail:ismuratova.gs@ksu.edu.kz; https://orcid.org/0000-0002-1834-1968.

Akhmetkali Tansulu Amangeldikyzy – Senior Lecturer, 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.*

Ismuratova Galiya Suindikovna – Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of accounting and management, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Republic of Kkazakhstan, 110000, Kostanay, 47 A. Baitursynov Str., e-mail: ismuratova.gs@ksu.edu.kz; https://orcid.org/0000-0002-1834-1968.

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ

ВЕТЕРИНАРИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ – ВЕТЕРИНАРНЫЕ НАУКИ

АҚАНОВА Ж.Ж. ЕСЕНЕЕВА С.С.* БЕГЕНОВА А.Б. КУЗЕУБАЕВА А.С.	RANDOX АНАЛИЗАТОРЫНДА АЗЫҚ ЖӘНЕ АЗЫҚ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ МИКОТОКСИНДЕРДІҢ ҚАЛДЫҚ ҚҰРАМЫН АНЫҚТАУ	5
АЛЕКСЕЕНКОВА С.В.* КУТТЫМУРАТОВА К.Б. САНСЫЗБАЙ А.Р. НУСУПОВА С.Т.	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИГЕНОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РИНОПНЕВМОНИИ ЛОШАДЕЙ	17
АЛПЫСБАЕВА С.Е.* САРМЫКОВА М.К. ӘБДІМҰХТАР А.Р. ЕСПЕМБЕТОВ Б.А.	ИССЛЕДОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ШТАММА *BRUCELLA MELITENSIS* 16M В СЕЛЕЗЕНКЕ ИНФИЦИРОВАННЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ	25
АУТЕЛЕЕВА Л.Т.* МАЙКАНОВ Б.С. СМАГУЛОВА А.С.	САНИТАРНАЯ ОЦЕНКА ГРЕЦКОГО ОРЕХА ИМПОРТИРУЕМОГО ИЗ КНР	33
BALABAYEV B.K.* YERGAZINA A.M. RAGATOVA A.Zh. MURZAKAYEVA G.K.	PHYSIOLOGICAL FEATURES OF THE HORMONAL STATUS OF THE THYROID GLAND IN BEEF COWS	43
BARAMOVA Sh.A.* MYRZALIYEV A.Zh. BIZHANOV A.B. KOBDIKOVA G.M.	BRUCELLOSIS IN SAIGA ANTELOPES (SAIGA TATARICA) IN KAZAKHSTAN AMID POPULATION RECOVERY: RETROSPECTIVE DATA AND A ONE HEALTH RISK-BASED APPROACH	50
ЕЛЕУСИЗОВА А.Т.* БАТЫРБЕКОВ А.Н. ТЫШТЫКБАЕВА С.Б. КАУМЕНОВ Н.С.	ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВЫРАЩИВАНИЯ НА БЛАГОПОЛУЧИЕ ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА	59
НУРПЕИСОВА Р.К.* ҚАНАТОВ Б. НИЯЗБЕКОВА Ж.Н. УСЕНБЕКОВ Е.С.	СОДЕРЖАНИЕ СОМАТИЧЕСКИХ КЛЕТОК В МОЛОКЕ КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ И ЕГО СВЯЗЬ С ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИЕЙ	68
ОЗАТБЕКҰЛЫ А.* ТУРГЕНБАЕВ К.А. БОРСЫНБАЕВА А.М. МИКНИЕНЕ З.	ТУБЕРКУЛИННІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ ЖӘНЕ ЖАҢА БУЫН ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ДИАГНОСТИКА БАҒЫТТАРЫ	78
ТАЛҒАТҚЫЗЫ Н.* КУХАР Е.В. ШЫНЫБАЕВ К.М. КАЙЫПБАЙ Б.Б.	КЕРАТИНОФИЛЬНЫЕ ВОЗБУДИТЕЛИ МИКОЗОВ КОЖИ, ВЫДЕЛЕННЫЕ С ЮЖНЫХ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА	91
ХАСАНОВА М.А.* ВОЛОХОВИЧ А.А.	МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ КРОВИ КРС ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ ПРИ ЛАМИНИТЕ КОПЫТ	104

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ – СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

АБДУЛЛОЕВ Ф.М.* САВИН Т.В. ЗОТОВА Л.П. БУРЛУЦКИЙ В.А.	СВЯЗЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ	114

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ

АБДИЛЬДИНА А.М.* АЙТЖАНОВА И.Н.	«ЖҮРГІМБЕКОВ» ШҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ӘРТҮРЛІ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТІ БАР ҚАЗАҚТЫҢ АҚБАС ТҰҚЫМДЫ БҰҚАШЫҚТАРЫНЫҢ ӨСУ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫ МЕН БИОХИМИЯЛЫҚ МӘРТЕБЕСІ	123
ЗИНЧЕНКО А.В.* ТЫНЫСПАЕВА Б.И. ЕРГАЗИНА Д.С. ЖАМАЛОВА Д.Б.	СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В УСЛОВИЯХ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ	132
МАКАЕВ К.А.* ТАТАРИНЦЕВ В.Л.	АНАЛИЗ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В РАМКАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ	140
МОЛДАХМЕТОВ С.С.* АБДУАЛИЕВ Е.О.	КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР СИСТЕМ ОРОШЕНИЯ: ДАТЧИКИ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ, IoT И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПОДДЕРЖСКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ	146
НУГМАНОВ А.Б. БОЖЕКЕНОВА Ж.Т.* ЫСҚАҚ А. СУЮНДИКОВА Ж.Т.	МЫС-АЛТЫН КЕНДЕРІ ҮЙІНДІЛЕРІНДЕГІ ӨСІМДІКТЕР ҚАУЫМДАСТЫҚТАРЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫ ЖӘНЕ ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ БИОЖИНАҚТАЛУЫ: ЗАМАНАУИ ЗЕРТТЕУ ТӘСІЛДЕРІ	161
НУРГАЗИЕВ Р.Е. АУЖАНОВА М.А. БЕКИМОВА Г.Б.* АШИРОВ А.Р.	ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕРБИЦИДНОЙ ОБРАБОТКИ И СНИЖЕНИЕ ПЕСТИЦИДНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПАВ НА ПОСЕВАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ	174
ОЛЖАБАЕВА А.О.* БАЙМАНОВ Ж. Н. ЖУСУПОВА Л.К. АЛДАМБЕРГЕНОВА Г.Т.	ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ РИСОВЫХ СИСТЕМ	185
ОҢЛАСЫНОВ Ж.Ә.* АБСАМЕТОВ М.К. МУРТАЗИН Е.Ж. МУРАТОВА М.М.	КАРТИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И АЛГОРИТМА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИЛИЙСКОГО РАЙОНА АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА	193
РУСТЕМБАЕВ А.Б. ТУННИКОВ А.А. КРАВЧЕНКО Р.И. ЗОЛОТУХИН Е.А.*	ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛА ЛОПАТОК ТУРБОКОМПРЕССОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ	204
СМАГУЛОВА А.М.* КИЯН В.С. УАХИТ Р.С. БОГАТКО Д.В.	КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТОПАТОГЕНОВ КАРТОФЕЛЯ В КАРАГАНДИНСКОЙ И АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТЯХ КАЗАХСТАНА	213
САЛЫКОВ Б.Р.* ЫСҚАҚ А. МАНУЙЛОВ Н.В. КАБДУШЕВА А.С.	СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ	225
SEITKHANOVA K.K.* ANIKINA I.N.	EFFECTS OF ARTEMISIA ABSINTHIUM L. AQUEOUS EXTRACT AND BIOSYNTHESIZED IRON NANOPARTICLES ON THE YIELD AND QUALITY OF COLOMBO POTATO TUBERS	236
САЛИКОВА Ж.Х.* БАЙДАЛИНА С.Е. БОГАПОВ И.М. БАЙДАЛИН М.Е.	ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА И СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА УРОЖдАЙНОСТЬ И КОРМОВУЮ ЦЕННОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ И ТРАВОСМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА	244

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ

ШЕГЕНОВ С.Т. АЛПЫСОВ А.Р. БЕКИМОВА Г.Б.* ЕСЖАНОВА Э.Б.	СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДА СИММЕНТАЛЬ ТҰҚЫМЫНЫҢ ӘРТҮРЛІ ӨНДІРІСТІК ТИПТЕГІ БҰҚАШЫҚТАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІНІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЭКОНОМИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН КЕШЕНДІ БАҒАЛАУ	253

ТАРИХ ҒЫЛЫМДАРЫ – ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

BERDYGUZHIN L.B. YESSENBETOVA A.M.*	STATE AND LEGAL SYSTEMS IN THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN IN THE XIII-XV CENTURIES: CONTINUITY AND TRANSFORMATION	262
ИСЕНОВ Ө.И.* ИХСАН Д.Ө. ДЖУМАШЕВ А.М.	ТОРҒАЙ ОБЛЫСЫНДАҒЫ ДЕНСАУЛЫҚ САҚТАУ ІСІНІҢ «ТУРГАЙСКАЯ ГАЗЕТА» МАТЕРИАЛДАРЫНДА ДЕРЕКТЕЛУІ (XIX Ғ. СОҢЫ – XX Ғ. БАСЫ)	271

ФИЛОЛОГИЯ ҒЫЛЫМДАРЫ – ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

BALAKIN S.V.*	ATOMIC PREDICATE INFLUENCE ON THE DEVELOPMENT OF FRENCH, SPANISH AND PORTUGUESE VERB SYSTEMS	280
RYSSAEVA Ye.A. FYODOROVA M.L.*	LINGUISTIC MEANS OF EXPRESSING AXIOLOGICAL ATTITUDES IN THE KAZAKHSTAN AND ENGLISH MEDIA: A COMPARATIVE ANALYSIS	285

ЭКОНОМИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР – ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ASSOYEV B.Kh. NAURZBAYEVA K.B.* ABDULLOZODA Kh.A. AKHMEDZODA Z.P.	ECONOMIC SUSTAINABILITY OF FOOD SUPPLY IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN AMID CLIMATE AND DEMOGRAPHIC CHANGES	295
АХМЕТҚАЛИ Т.А.* ИСМУРАТОВА Г.С.	ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА РАЗВИТИЯ АГРАРНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ	304

Утверждены гл. редактором

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 *<u>на трех языках</u>*** (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;**

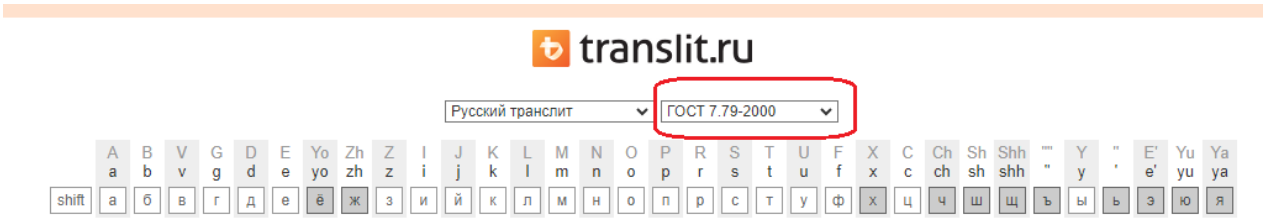
- **если статья на англ. языке,** то только источники на русском и казахском языке даются в латинской транслитерации (REFERENCES)**;**

- **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	ұ	ү	қ	і
a	g	n	o	u	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: KCJBKZKX
  ИИК: KZ398562203108711441
  КБЕ: 16

Контакты:

- 110000, г. Костанай, ул. Ахмета Байтурсынова, 47, корпус 1, каб. 213
  КРУ имени Ахмета Байтұрсынұлы, 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 Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің редакциялық-баспа бөлімінде басқармасында теріліп, беттелді
Корректорлар: Б. Сыздыкова, Т. Цай, А. Симонова
Компьютерлік беттеу: С. Красикова, И. Милокумова

Мекен-жайымыз: 110000, Қостанай қ., Байтұрсынов 47, 213 каб.
Тел/факс: 8 (7142) 55-85-96
E-mail: 3i_kru@mail.ru
Қыркүйек 2026 ж. басуға берілді.
Пішімі 60х84/8. Таралымы 300
Қыркүйек 2026 ж. Тапсырыс № 0200

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетіндегі редакциялық-баспа бөлімінде басылған
Қостанай қ., Байтұрсынов 47

Журнал набран и сверстан в редакционно-издательском отделе Костанайского регионального университета имени Ахмет Байтұрсынұлы
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 сентябрь 2026 г.
Формат 60х84/8. Тираж 300 экз.
Сентябрь 2026. Заказ № 0200

Отпечатано в редакционно-издательском отделе Костанайского регионального университета имени Ахмет Байтұрсынұлы
г. Костанай, ул. Байтурсынова 47