

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

Еуразиялық агротехникалық журнал

Eurasian Agrotechnical Journal

Евразийский агротехнический журнал

№ 1 (129)

Еуразиялық агротехникалық журнал
«С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің
ғылым хабаршысы» ISSN 2710-3757, 2079-939X
журналының мұрагері болып табылады

Астана 2026

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ

Ғылыми редактор

Байбусенов Курмет Серикович - PhD, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Ауыл және орман шаруашылығы институтының қауымдастырылған профессоры, Астана қаласы,

Редакциялық алқаның мүшелері

Стыбаев Гани Жасымбекович - Ауылшаруашылық ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Өсімдік шаруашылығы БББТ профессоры, Астана қаласы

Кажғалиев Нурлыбай Жигербаевич - Ауылшаруашылық ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Мал шаруашылығы және биологиялық ғылымдары БББТ профессоры, Астана қаласы

Аубакирова Гульжан Аманжоловна - Биология ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Мал шаруашылығы және биологиялық ғылымдары БББТ қауымдастырылған профессоры, Астана қаласы

Курмангожинов Альжан Жанибекович - PhD, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Ландшафттық дизайн БББТ қауымдастырылған профессоры м.а., Астана қаласы

Озеранская Наталия Львовна - Экономика ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Жер ресурстары және сәулет институтының доценті, Астана қаласы

Айдарханова Гульнара Сабитовна - Биология ғылымдарының докторы, «Микроорганизмдердің республикалық коллекциясы» ЖШС қауымдастырылған профессоры, Астана қаласы

Конысбаева Дамиля Туремуратовна - Биология ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Ауыл және орман шаруашылығы институты доценті, Астана қаласы

Гуляренко Александр Александрович - PhD, техника ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Көлік техникасы, технологиялар және стандарттау, сертификаттау және метрология БББТ қауымдастырылған профессоры, Астана қаласы

Хусаинова Жібек Сеитовна - Экономика ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің профессоры, Ғылым және инновация департаментінің директоры, Астана қаласы

Утебаев Марал Уралович - Биология ғылымдарының кандидаты, «А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС жетекші ғылыми қызметкері

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА МҮШЕЛЕРІНІҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҚҰРАМЫ

Сезгин Аян (Sezgin Ayan) -PhD, Кастамону Университеті Орман шаруашылығы факультеті Орман инженериясы бөлімінің профессоры, Кастамону, Турция

Саввулиди Филип Георгиевич (Savvulidi Filipp Georgijevič) -Прагадағы Чехия жаратылыстану ғылымдары университеті Агробиология, азық-түлік және табиғи ресурстар факультетінің Жануарлар ғылымдары кафедрасының ассистент-профессоры, Прага, Чехия

Бембенек Михал (Bembenek Michal) - - AGH Краковтағы Тау-кен және металлургия университеті Өндірістік жүйелер бөлімі профессоры, Краков, Польша

Татаринцев Владимир Леонидович - Ауылшаруашылығы ғылымдарының докторы, Ұлттық зерттеу Томск мемлекеттік университеті Биология, экология, топырақтану, ауыл және орман шаруашылығы институтының профессоры, Томск, Ресей Федерациясы

Купидура Пиемыслав (Kupidura Przemysław) - PhD, Варшава техникалық университеті Геодезия және картография факультеті Фотограмметрия, қашықтықтан зондтау және кеңістіктік ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Варшава, Польша

Лв Дианкиу (Lv Dianqiu) - PhD, профессор, Оңтүстік-Батыс университетінің Агрономия және биотехнология колледжінің деканы, Чунцин, КНР

Пищенко Елена Витальевна -Биология ғылымдарының докторы, Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі «Сібір мемлекеттік инженерия және биотехнология университеті» Биология, биологиялық ресурстар және аквамадениет кафедрасының профессоры, Томск, Ресей Федерациясы

Мейзам Заргар (Meisam Zargar) - Ауыл шаруашылығы докторы, Ресей халықтар достығы университеті Аграрлық-технологиялық институты Агробиотехнология департаментінің қауымдастырылған

Кузьмина Светлана Петровна - - Омск мемлекеттік ауыл шаруашылығы университетінің Агрономия, селекция және тұқым шаруашылығы кафедрасының доценті, Омск, Ресей Федерациясы

ISSN 3135-243X,3135-2448

© С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026, 010011, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62, + 7 (7172) 31-02-45



Бас редактордың құттықтау сөзі

Құрметті оқырмандар, авторлар және әріптестер!

1994 жылдан бастап С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Ғылым жаршысы» ғылыми журналын шығарып келеді. Бұл басылым ауыл шаруашылығы ғылымдары саласындағы Қазақстанның танымал академиялық платформаларының біріне айналып, аграрлық зерттеушілер үшін беделді ғылыми алаң болды.

2021 жылы журнал Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім сапасын қамтамасыз ету комитеті ұсынған 2-деңгейлі ғылыми басылымдар тізіміне енгізілген. Бұл мәртебе журналда мемлекеттік қаржыландырылатын ғылыми жобалар мен бағдарламалардың нәтижелерін, сондай-ақ ауыл шаруашылығы ғылымдары бойынша PhD дәрежесіне үміткерлердің және қауымдастырылған профессор (доцент) мен профессор ғылыми атақтарына талапкерлердің еңбектерін жариялауға мүмкіндік береді.

Өткен жылдың соңында журнал толыққанды ребрендингтен өтті. Оның мақсаты – көріну деңгейін және сенімділігін арттыру, редакциялық үдерістердің сапасы мен ашықтығын жақсарту, халықаралық индекстеу жүйелерінің талаптарына сәйкестігін күшейту, сондай-ақ Қазақстаннан және шетелден жоғары сапалы ғылыми жұмыстарды тарту болды.

Биылдан бастап журнал жаңа атаумен жарық көреді: **Еуразиялық агротехникалық журнал**. Ребрендинг аясында біз редакциялық алқаны жаңарттық; жаңа визуалдық стильді (мұқаба, веб-сайт, мақала үлгілері және дизайн) енгіздік; сондай-ақ ғылыми жарияланымдардың заманауи стандарттарына сәйкес негізгі редакциялық саясаттарды жаңарттық.

Журналдың жаңа атаумен шыққан алғашқы саны біздің редакциялық ұжым үшін маңызды кезең болып табылады. Біз журналды ауыл шаруашылығы ғылымдары (агрономия, өсімдік шаруашылығы, егіншілік, топырақтану, агрохимия, өсімдіктерді қорғау және карантин, жеміс-көкөніс шаруашылығы, орман шаруашылығы, аңшылықтану, балық шаруашылығы, мал шаруашылығы, агроинженерия, жерге орналастыру, агроөнеркәсіптік кешен экономикасы) аясындағы маңызды ғылыми зерттеулерді жариялауға арналған ашық, сапалы және халықаралық деңгейдегі алаң ретінде қарастырамыз.

Біз зерттеушілерді, оқытушыларды және практиктерді өздерінің үздік еңбектерін Еуразиялық агротехникалық журналына ұсынуға шын жүректен шақырамыз. Біз редакциялық адалдықты, әділ әрі жедел рецензиялауды және жарияланым сапасын үздіксіз арттыруды қамтамасыз етуге ұмтыламыз. Сіздердің мақалаларыңыз, дәйексөздеріңіз, рецензияларыңыз бен пікірлеріңіз журналдың беделін қалыптастырып, өңірлік және жаһандық ғылыми қауымдастықтың дамуына үлес қосады.

Сенімдеріңіз бен қолдауларыңыз үшін алғыс білдіреміз. Бұл сан сіздер үшін пайдалы әрі шабыттандыратын болады деп сенеміз және журнал дамуының келесі кезеңдерінде сіздерді автор, рецензент және оқырман ретінде көруге қуаныштымыз.

Ізгі тілекпен, Құрмет Байбусенов

Бас редактор, Еуразиялық агротехникалық журнал





АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-5-14. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2054
УДК 632.4.01/08

Исследовательская статья

Изучение распространённых болезней сосны, ели и клёна и проверка эффективности фунгицидных препаратов

Джумагулова И. , Джумагулов А. , Әжімахан М.Ә. , Байбусенов К.С. , Макишев Т.К. 

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина
Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Әжімахан М.Ә.: moldir_kazatu@mail.ru

Соавторы: (1: ИД) issentemirova21@bk.ru; (2: АД) dzhumagulov.arsen@mail.ru
(3: КБ) kurmet_1987@bk.ru (4: ТМ) talgat-0412@mail.ru

Получено: 08.10.2025 **Принято:** 24.02.2026 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. Благоустройство и озеленение парков декоративными деревьями в настоящее время представляет собой важную задачу, связанную с необходимостью в создании комфортной городской среды, улучшения экологической ситуации и повышения эстетической привлекательности зелёных территорий. Цель данного исследования - выявить наиболее распространённые заболевания декоративных культур и подобрать наиболее эффективные фунгициды для борьбы с ними.

Материалы и методы. Отбор образцов осуществляли со случайно выбранных деревьев, при этом пробы брали как с нижнего, так и с верхнего ярусов. Выделение ДНК выполняли с использованием коммерческого набора GeneJET PCR Purification Kit. Амплификацию фрагментов ДНК проводили по методу Сэнгера с применением набора BigDye Terminator. Полученные продукты секвенирования анализировали на генетическом анализаторе ABI 3130XL (Applied Biosystems, США). Обработку и редактирование хроматограмм осуществляли в программе Sequencing Analysis 5.2, Patch 2 (Applied Biosystems, США). Полученные данные интерпретировали с применением базы данных на сайте www.ncbi.com.

Опыты по определению эффективности фунгицидов проводили методом «ядовитого агара» для оценки роста мицелия. Статистическую достоверность результатов оценивали с использованием программы СНЕДЕКОР.

Результаты. На основании микроскопического исследования и молекулярно-генетического анализа методом секвенирования установлено, что ель обыкновенная поражается *Fusarium tricinctum*, тогда как на сосне обыкновенной и клёне татарском выявлен *Alternaria infectoria*. Испытания биологической эффективности фунгицидов показали, что препараты на основе пропиконазола и пиракlostробина обладают выраженной ингибирующей активностью по отношению к выявленным патогенам, снижая рост мицелия на 74-87%. Максимальный эффект отмечен при использовании препарата «Кластро» на ели обыкновенной, где уровень подавления роста мицелия достигал 87,4%.

Закключение. Сочетание традиционных методов микроскопии и современных молекулярно-генетических подходов позволяет более точно идентифицировать фитопатогенные грибы и подбирать наиболее эффективные средства защиты растений. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем интегрированной защиты древесных пород в лесных и городских насаждениях, что будет способствовать сохранению их декоративной и экологической ценности.

Ключевые слова: декоративные культуры; патогены; ПЦР; секвенирование; фунгицид; биологическая эффективность.

Введение

Глобальные климатические изменения и ухудшение экологической ситуации обусловили необходимость повышения эффективности лесовыращивания [1]. Процесс получения высококачественной древесины – материала, сохраняющего свою актуальность и в современном мире, зависит от множества факторов на всех этапах выращивания леса и заготовки древесной продукции. Важно с самого начала способствовать формированию ствола дерева без пороков и, соответственно, высококачественной древесины [2].

В последние годы предпринимаются меры по увеличению лесистости страны. За последние 5 лет площадь лесных территорий увеличена на 267 тыс. га, что соответствует росту на 5%. Кроме того, планируется увеличить лесопокрытую площадь с 13,7 млн га до 14,5 млн га к 2030 году [3].

Благоустройство и озеленение парков декоративными деревьями в настоящее время является актуальной задачей, обусловленной необходимостью создания комфортной городской среды, улучшения экологического состояния и повышения эстетической ценности зелёных пространств. Однако, для достижения устойчивого эффекта важно обеспечивать здоровье растений, предотвращая поражение их болезнями и вредителями, что способствует сохранению их декоративных и экологических функций.

По мнению большинства фитопатологов, основной причиной многих заболеваний растений чаще всего являются грибные патогены [4].

Многие инфекционные болезни, связанные с поражением корней и корневой шейки приводят растения к увяданию. Однако, особенно выделяется группа болезней «сосудистые увядания», при которых поражается проводящая сосудистая система, трахеи. Основными возбудителями трахеомикозных заболеваний являются грибы родов *Fusarium*, *Verticillium*. Фузариозы широко распространены среди декоративных растений. Этот тип болезни характеризуется следующими симптомами: полегание всходов; отмирание корней и других подземных частей растений; поражение надземных органов растений. Многочисленные представители рода *Fusarium* обладают рядом биологических и других особенностей: обитают в основном в пахотном слое почв, где питаются на остатках дикорастущих и культурных растений (ботва, опавшие листья, отмершие корни и т.д.), а также могут переходить на живые растения и вызывать у них болезни. Заражение надземных органов происходит посредством конидий, которые разносятся воздушными течениями или дождевыми каплями. Конидии, попадая на растения, прорастают инфекционной гифой, которая проникает внутрь растения. Этот процесс значительно облегчается при наличии на растении механических повреждений и некротизированных тканей. Поражаются все органы растения: корни, стебли, листья, бутоны. Общие симптомы поражения, следующие: для всходов – пожелтение и увядание листьев; образование перетяжки в области корневой шейки; полегание всходов; загнивание корней; для взрослых растений – пожелтение нижних листьев, которое со временем распространяется по всему растению [5].

Альтернариоз – это заболевание грибной этиологии, которое может поражать широкий спектр хвойных и декоративно-лиственных культур в питомнике. Заболевание вызывают анаморфные грибы рода *Alternaria*, чаще *A. tenuis*. Оно характеризуется появлением темных пятен на листьях, стеблях и плодах растений разного возраста, на подвоях, корнесобственных и привитых.

Симптомы альтернариоза могут варьировать в зависимости от вида растения, но, как правило, инфицированная растительная ткань на некрозе будет выглядеть темно-коричневой или черной, сухой с концентрическими кольцами. Поражения могут начинаться с небольших округлых пятен, постепенно увеличиваться в размерах и охватывать большие площади надземных органов растения [6].

На данный момент в перечне разрешённых к применению пестицидов отсутствуют зарегистрированные препараты для защиты декоративных древесных пород в городских условиях, а также лесном хозяйстве. Проведённые нами исследования могут стать основой для дальнейших рекомендаций по использованию эффективных фунгицидов против основных патогенов декоративных культур. Цель данного исследования – выявить наиболее распространённые заболевания декоративных культур и подобрать наиболее эффективные фунгициды для борьбы с ними.

Таким образом, своевременное выявление заболеваний и подбор эффективных препаратов позволит предотвратить их распространение и сохранить декоративные растения.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были использованы образцы ели обыкновенной, сосны обыкновенной и клёна татарского.

Листовые образцы клёна татарского отобраны в сквере Акжайык, а сосны обыкновенной и ели обыкновенной в Центральном парке города Астана. Отбор производился со случайно выбранных деревьев, образцы отбирались с нижнего и верхнего ярусов по 20 листьев с клена татарского и 3 пучка хвои с ели обыкновенной и сосны обыкновенной. Далее составлялись средние образцы для анализов. Отбор производился в сухую погоду, в течение одного дня, каждый образец подписывался и доставлялся в лабораторию в течение 24 часов после отбора [7].

Лабораторные исследования проводились на базе Института сельского и лесного хозяйства в лаборатории молекулярно-генетических исследований и защиты растений Казахского агротехнического исследовательского университета имени С.Сейфуллина.

Выделение ДНК проводили готовым набором GeneJET PCR Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, USA) использовался протокол для выделения ДНК. Концентрация ДНК варьировалась от 6,7-74,8134,5 нг/мкл. Продукт гена Alt a1 длиной 568 п.н. амплифицировали с использованием следующих пар праймеров Alt-for/Alt-rev (Hong et al. 2005) [8].

Для амплификации маркерного участка в общем объеме 25 мкл готовится смесь, содержащая 25 нг ДНК, 1U ДНК полимеразы (Thermo Scientific, США), 0,2 mM каждого дНТФ, 1× ПЦР буфер, 2,5 mM MgCl₂, 10 пмоль каждого праймера. Программа ПЦР выполняется на амплификаторе SimpliAmp, (Thermo Fisher Scientific, США). Электрофорез проводили в 1,5% агарозном геле в камере для горизонтального электрофореза Max NU10, и источником тока «Consort EV 243». В качестве электродного буфера используется 1×ТАЕ-буфер. Амплифицированные фрагменты ДНК секвенировали с помощью метода Сэнгера [9] с использованием набора для определения последовательности терминатора BigDye в соответствии с расчетом на общий объем 25 мкл для каждой пробы – дН₂O – 18 мкл, 5× буфера – 5 мкл, BigDye – 0,5 мкл, праймер – 0,5 мкл, ПЦР-продукт – 1 мкл. Последовательности праймеров использовали такие же, как и для ПЦР. Для обеспечения точности секвенирования амплифицированные фрагменты секвенировали с двумя праймерами: прямым и обратным. Продукты секвенирования изучали на генетическом анализаторе ABI 3130XL (Applied Biosystems, США). Анализ и редактирование хроматограммы проводили с использованием Sequencing Analysis 5.2, Patch 2 (Applied Biosystems, США). Полученные результаты обрабатывали в базе данных на сайте www.ncbi.com.

Закладка опытов по эффективности фунгицидов проводилась по методике [10].

Метод «ядовитого агара» (poisoned food technique) – для мицелия. Ход выполнения работы:

1. Приготовление питательной среды Агар-агар.
2. Стерильное охлаждение расплавленного агара до 45-50 °С.
3. Введение препаратов в нужных концентрациях с аккуратным постепенным перемешиванием.
4. Разливка готовых растворов в чашки Петри (20 мл/чашку).
5. Вырезание из активной культуры диска мицелия диаметром 6 мм и размещение по центру каждой чашки мицелием вниз.
6. Инкубирование при температуре 25 °С в темноте.
7. Измерение диаметра колонии (среднее двух перпендикуляров) каждые 24 часов до тех пор, пока контроль не достигнет края чашки (в течении 5 суток).

Показатель биологической эффективности (ингибирование роста, %) рассчитывался по формуле (1):

$$x = \frac{D_c - D_t}{D_c} \times 100, \quad (1)$$

где, D_c – средний диаметр колонии в контроле;

D_t – в варианте.

Маточный раствор пестицидов готовился исходя из зарегистрированных норм расхода, разводился в дистиллированной воде, а затем добавлялся в питательную среду. На норму расхода делалось три повторности, варианты опыта отображены в таблице 1.










Таблица 1 – Варианты опытов по изучению эффективности фунгицидов, против болезней клёна, ели и сосны

Культура	Препарат	Действующее вещество	Норма расхода
Ель	Пропикон, к.э.	Пропиконазол, 250 г/л	0,5 л
	Кластро, к.э.	Пиракlostробин, 200 г/л	0,6 л
Сосна	Пропикон, к.э.	Пропиконазол, 250 г/л	0,5 л
	Кластро, к.э.	Пиракlostробин, 200 г/л	0,6 л
Клён	Пропикон, к.э.	Пропиконазол, 250 г/л	0,5 л
		Пиракlostробин, 200 г/л	0,6 л

Результаты и обсуждение

На первом этапе нами была проведена микроскопия с целью установления родовой принадлежности грибной культуры. Ниже в таблице представлены результаты микроскопии:

Таблица 2 – Культуры грибов, выделенные с различных древесных пород

Образцы	Поражённые листья	Чистая культура патогена	Результаты микроскопия
<i>Picea abies</i>			
<i>Acer tataricum</i>			
<i>Pinus sylvestris</i>			

Микроскопическое исследование выявило наличие грибов рода *Fusarium* spp. на ели обыкновенной, в то время как на сосне обыкновенной и клене татарском были обнаружены представители рода *Alternaria* spp.

В результате амплификации ITS-регионов во всех четырех образцах были получены четкие полосы, соответствующие ожидаемому размеру (приблизительно 600-700 п.н.) (рисунок 1). Это подтверждает успешное выделение ДНК и эффективность выбранных праймеров.

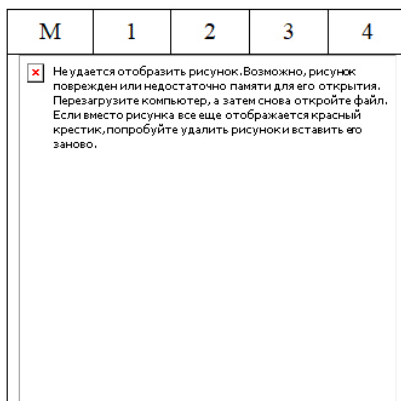


Рисунок 1 – Результаты амплификации ITS-регионов в 1% агарозном геле
 (M – маркер молекулярных масс, 1 – образец №1, 2 – образец №2,
 3 – образец №3, 4 – образец №4)

Секвенирование всех ампликонов прошло успешно. Результаты молекулярно-генетического анализа методом секвенирования *alt* участка генома представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты секвенирования изучаемых штаммов

Образец	Патоген	Идентичность	Номер доступа <i>GenBank</i>
<i>Picea abies</i>	<i>Fusarium tricinctum</i>	100%	PP766697.1
<i>Acer tataricum</i>	<i>Alternaria infectoria</i>	100%	PP157219.1
<i>Acer tataricum</i>	<i>Alternaria infectoria</i>	100%	OR752276.1
<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Alternaria alternata</i>	100%	ON248286.1

В ходе молекулярной идентификации фитопатогенных грибов, выделенных с различных древесных пород, были получены последовательности, полностью совпадающие (100% идентичность) с референтными данными GenBank. Полное соответствие с базой данных свидетельствует о высокой точности идентификации и надёжности выбранного метода амплификации региона ITS, который широко используется для определения видов грибов [11, 12].

У образца ели обыкновенной был выявлен *Fusarium tricinctum*, что подтверждается совпадением с последовательностью PP766697.1. Вид *F. tricinctum* известен как агрессивный фитопатоген, поражающий древесные и травянистые растения, вызывая некрозы и некротические пятнистости [13, 14]. Его присутствие на ели может указывать на развитие латентной инфекции или ассоциацию с повреждёнными тканями, особенно в условиях стрессовых воздействий.

Оба образца с клёна татарского были определены как *Alternaria infectoria*. Грибы комплекса *A. infectoria* распространены на древесных растениях и могут вызывать пятнистость листьев, некрозы и ослабление тканей, особенно при высокой влажности [15]. Сходство результатов по двум независимым изолятам подтверждает устойчивое присутствие данного патогена в микобиоте клёна.

На образце сосны обыкновенной обнаружен *Alternaria alternata*, что соответствует последовательности ON248286.1. *A. alternata* – один из наиболее распространённых сапротрофных и оппортунистических патогенов, ассоциируемых с хвойными растениями, где он часто развивается на ослабленных или повреждённых тканях [16]. Его присутствие на сосне может указывать как на вторичное инфицирование, так и на участие в формировании комплексов грибных поражений. Результаты исследования отражают значительное разнообразие патогенных грибов, поражающих древесные растения, что обуславливает потребность в тщательном выборе эффективных фунгицидов.

Далее было проведено исследование по изучению биологической эффективности фунгицидов на основе действующих веществ пропиконазол и пиракlostробин против выявленных болезней на всех изучаемых культурах (сосна и ель обыкновенные, клен татарский).

Таблица 4 – Биологическая эффективность применения препаратов Пропикон и Кластро против болезней на сосне обыкновенной, клёне татарском и ели обыкновенной

Вариант опыта	Повторность	Диаметр колонии в контроле, мм	Средний диаметр колонии в опыте, мм	Биологическая эффективность, %
Клён татарский (<i>Acer tataricum</i>) (пропикон)	1	90	23,2	74,0
	2		16,6	81,4
	3		18,5	79,3
	Средняя		19,4	78,3
Клён татарский (<i>Acer tataricum</i>) (кластро)	1	90	22,8	74,5
	2		16,3	81,8
	3		28,7	67,9
	Средняя		22,6	74,7
Ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>) (кластро)	1	90	14,6	83,7
	2		12,1	86,5
	3		13,0	85,5
	Средняя		13,2	85,2
Ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>) (кластро)	1	90	11,9	86,7
	2		10,7	88,0
	3		11,3	87,4
	Средняя		11,3	87,4
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) (пропикон)	1	90	18,9	78,9
	2		14,3	84,0
	3		15,7	82,4
	Средняя		16,3	81,8
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) (пропикон)	1	90	22,5	74,8
	2		17,0	81,0
	3		23,5	73,7
	Средняя		21,0	76,5

Из таблицы видно, что против болезней сосны обыкновенной и клена татарского более эффективен препарат Пропикон (81,8 и 78,3% соответственно), а против болезней ели обыкновенной препарат Кластро (87,4%). В целом, по различной повторности наименьшую эффективность показал препарат Кластро против болезни клёна татарского – 67,9%, а наивысшую также препарат Кластро, но уже против болезни ели обыкновенной – 88,0%.

Проверка достоверности опыта была проведена через программу СНЕДЕКОР.

Дисперсионный анализ экспериментальных данных представлен в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Разложения дисперсии ANOVA. Рендомизация в блоках

Дисперсия	Сумма квадратов	Доля вариации	Степень свободы	Средний квадрат	F- критерий
Общая	439,178	1,0000	17	25,834	8,864
Фактор	299,604	0,6822	5	59,921	
Повторения	71,974	0,1639	2	5,987	
Сл. факторы	67,599	0,1539	10	6,760	

Таблица 6 – Анализ различия факторных средних

Варианты	Повторности			Средние	Разница	Значительна
	1	2	3			
1	23,20	16,60	18,50	19,43	Контроль	
2	22,80	16,30	28,70	22,60	3,167	Нет
3	14,60	12,10	13,00	13,23	-6,200	Да
4	11,90	10,70	11,30	11,30	-8,133	Да
5	18,90	14,30	15,70	16,30	-3,133	Нет
6	22,50	17,00	23,50	21,00	1,567	Нет
Средние	18,98	14,50	18,45	17,311	-2,122	Нет

Анализ средних по НСР (5%)

F-критерий=8,8642, ст.св. = 5, 10, Q=0,0019

Степень влияния по Снедекору=0,7239

Стандартная ошибка=1,5011 (8,67% от общего среднего)

НСР (1%) =6,7278 НСР (5%) = 4,7300 НСР (10%) =3,8476.

Важно отметить, что проведенный дисперсионный анализ подтвердил статистическую значимость влияния изучаемого фактора – препарата. Доля вариации, обусловленная примененными препаратами, составила 72,4%, что свидетельствует о высокой воспроизводимости и достоверности результатов.

Таким образом, исследование демонстрирует необходимость комплексного подхода к диагностике и контролю болезней декоративных культур. Сочетание микроскопии, молекулярно-генетических методов и моделирования эффективности фунгицидов позволяет:

- точно выявлять возбудителей;
- подбирать фунгициды по механизмам действия;
- разрабатывать конкретные рекомендации для городской зелёной инфраструктуры.

Учитывая отсутствие зарегистрированных фунгицидов для защиты декоративных древесных пород в действующем перечне пестицидов РК, полученные данные могут служить научным обоснованием для инициирования полевых испытаний пропиконазола и пиракlostробина в рамках государственной регистрации.

Это особенно актуально в условиях роста площади городских зелёных насаждений и необходимости поддержания их фитосанитарной устойчивости.

Заключение

Проведенные исследования позволили подтвердить видовую принадлежность грибных патогенов, поражающих древесные породы в условиях города Астана. На основе микроскопии и молекулярно-генетического анализа методом секвенирования установлено, что на ели обыкновенной присутствует *Fusarium tricinctum*, на сосне обыкновенной *Alternaria alternata* и на клёне татарском – *Alternaria infectoria*. Полученные данные имеют важное значение для диагностики болезней древесных пород и разработки целевых мер защиты.

Испытания биологической эффективности фунгицидов показали, что препараты на основе пропиконазола и пиракlostробина обладают высокой ингибирующей активностью в отношении выявленных патогенов, снижая рост мицелия на 74-87%. При этом наибольшая эффективность была отмечена у варианта с применением препарата Кластро на ели обыкновенной, где ингибирование роста достигало 87,4%.

Таким образом, сочетание традиционных методов микроскопии и современных молекулярно-генетических подходов позволяет более точно идентифицировать фитопатогенные грибы и подбирать наиболее эффективные средства защиты растений. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем интегрированной защиты древесных пород в лесных и городских насаждениях, что будет способствовать сохранению их декоративной и экологической ценности.

Вклад авторов

МЭ: разработала концепцию и структуру работы. МЭ, ИД, АД, КБ и ТМ: спланировали и разработали эксперименты. ИД: собрала и подготовила образцы. МЭ, ИД, АД: провели эксперименты и собрали данные. АД: выполнил расчёты и способствовал интерпретации результатов.

Все авторы внесли вклад в обсуждение и редактирование рукописи.

Список литературы

- 1 Высоккий, А.А., Корчагин, О.М. (2018). Корневая губка в насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 224, 176-192. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.224.176-192.
- 2 Уголев, Б.Н. (2001). *Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для лесотехнических вузов*. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: МГУЛ, 340.
- 3 Интернет-источник. (2025). 52 млрд тенге выделено на противопожарную технику для лесных хозяйств в Казахстане. <https://www.inform.kz/ru/52mlrd-tenge-videleno-naprotivopozharnuyu-tehniku-dlya-lesnih-hozyaystv-vkazahstane-3d95b3>.
- 4 Чураков, Б.П., Чураков, Д.Б. (2025). *Лесная фитопатология: учебник для СПО* (4-е изд.). СПб.: Лань, 448.
- 5 Шутко, А.П., Тутуржанс, Л.В., Михно, Л.А. (2019). *Болезни и вредители декоративных культур: учебное пособие*. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 120.
- 6 Интернет-источник. (2025). *Альтернариоз в питомниках хвойных и декоративно-лиственных культур*. <https://bioprotection.ru/disease/alternarioz-v-pitomnikah-hvoynyh-i-dekorativno-listvennyh-kultur>
- 7 Hong, S.G., et al. (2005). Alt a1 allergen homologs from *Alternaria* and related taxa: Analysis of phylogenetic content and secondary structure. *Fungal Genetics and Biology*, 42(2), 119-129. DOI: 10.1016/j.fgb.2004.10.009.
- 8 Sanger, F., Coulson, A.R. (1975). A rapid method for determining sequences in DNA by primed synthesis with DNA polymerase. *Journal of Molecular Biology*, 94, 444-448.
- 9 Nene, Y.L., Thapliyal, P.N. (1979). *Fungicides in Plant Disease Control*. Oxford & IBH Publishing, 186-212.
- 10 White, T.J., Bruns, T., Lee, S., Taylor, J. (1990). *Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics*. In M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, T.J. White (Eds.), *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Academic Press, 315-322.
- 11 Schoch, C.L., Seifert, K.A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J.L., Levesque, C.A., Chen, W., et al. (2012). The nuclear ribosomal ITS region as a universal DNA barcode marker for fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 6241-6246. DOI: 10.1073/pnas.1117018109.
- 12 Leslie, J.F., Summerell, B.A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing.
- 13 O'Donnell, K., Rooney, A.P., Proctor, R.H., Brown, D.W., McCormick, S.P., Ward, T.J., Frandsen, R., Lysoe, E., Rehner, S.A. (2013). *Fusarium* phylogeny and species recognition. *Studies in Mycology*, 76, 1-20. DOI: 10.3114/sim0024.
- 14 Woudenberg, JHC., Groenewald, J.Z., Binder, M., Crous, P.W. (2015). Systematics and phylogeny of *Alternarias* species. *Studies in Mycology*, 82, 1-21. DOI: 10.1016/j.simyco.2015.07.001.
- 15 Thomma, BPHJ. (2003). *Alternaria* spp. as plant pathogens. *Molecular Plant Pathology*, 4(4), 225-236. DOI: 10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x.

References

- 1 Vysockii, A.A., Korchagin, O.M. (2018). Kornevaya gubka v nasazhdeniyah sosny obyknovennoi (*Pinus sylvestris* L.). *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 224, 176-192. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.224.176-192. [in Russ].

- 2 Ugolev, B.N. (2001). Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya: uchebnik dlya lesotekhnicheskikh vuzov. 3-e izd., pererab. i dop. Moskva: MGUL, 340. [in Russ].
- 3 Internet-istochnik. (2025). 52 mlrd tenge vydeleno na protivopozharnuyu tekhniku dlya lesnykh hozyajstv v Kazahstane. <https://www.inform.kz/ru/52mlrd-tenge-videleno-naprotivopozharnuyu-tehniku-dlya-lesnih-hozyaystv-vkazahstane-3d95b3> [in Russ].
- 4 Churakov, B.P., Churakov, D.B. (2025). *Lesnaya fitopatologiya: uchebnik dlya SPO* (4-e izd.). SPb.: Lan', 448. [in Russ].
- 5 Shutko, A.P., Tuturzhans, L.V., Mihno, L.A. (2019). *Bolezni i vrediteli dekorativnykh kul'tur: uchebnoe posobie*. Stavropol': Stavropol'skii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 120. [in Russ].
- 6 Internet-istochnik. (2025). *Al'ternarioz v pitomnikah hvoynyh i dekorativno-listvennykh kul'tur*. Bioprotection.ru. <https://bioprotection.ru/disease/alternarioz-v-pitomnikah-hvoynyh-i-dekorativno-listvennykh-kul'tur> [in Russ].
- 7 Hong, S.G., et al. (2005). Alt a1 allergen homologs from Alternaria and related taxa: Analysis of phylogenetic content and secondary structure. *Fungal Genetics and Biology*, 42(2), 119-129. DOI: 10.1016/j.fgb.2004.10.009.
- 8 Sanger, F., Coulson, A.R. (1975). A rapid method for determining sequences in DNA by primed synthesis with DNA polymerase. *Journal of Molecular Biology*, 94, 444-448.
- 9 Nene, Y.L., Thapliyal, P.N. (1979). *Fungicides in Plant Disease Control*. Oxford & IBH Publishing, 186-212.
- 10 White, T.J., Bruns, T., Lee, S., Taylor, J. (1990). *Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics*. In M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, T.J. White (Eds.), *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Academic Press, 315-322.
- 11 Schoch, C.L., Seifert, K.A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J.L., Levesque, C.A., Chen, W., et al. (2012). The nuclear ribosomal ITS region as a universal DNA barcode marker for fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 6241-6246. DOI: 10.1073/pnas.1117018109.
- 12 Leslie, J.F., Summerell, B.A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing.
- 13 O'Donnell, K., Rooney, A.P., Proctor, R.H., Brown, D.W., McCormick, S.P., Ward, T.J., Frandsen, R.J., Lysoe, E., Rehner, S.A. (2013). *Fusarium* phylogeny and species recognition. *Studies in Mycology*, 76, 1-20. DOI: 10.3114/sim0024.
- 14 Woudenberg, JHC., Groenewald, J.Z., Binder, M., Crous, P.W. (2015). Systematics and phylogeny of *Alternaria* species. *Studies in Mycology*, 82, 1-21. DOI: 10.1016/j.simyco.2015.07.001.
- 15 Thomma, BPHJ. (2003). *Alternaria* spp. as plant pathogens. *Molecular Plant Pathology*, 4(4), 225-236. DOI: 10.1046/j.1364-3703.2003.00173.xm.

Қарағайдың, шыршаның және үйеңкінің жиі кездесетін ауруларын зерттеу және фунгицидтік препараттардың тиімділігін тексеру

Джумагулова И., Джумагулов А., Әжімахан М.Ә., Байбусенов К.С., Макишев Т.К.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Саябақтарды сәндік ағаштармен абаттандыру мен көгалдандыру бүгінде жайлы қалалық орта құруға, экологиялық жағдайды жақсартуға және жасыл аумақтардың эстетикалық тартымдылығын арттыруға байланысты маңызды міндет болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты – сәндік дақылдардың ең көп таралған ауруларын анықтау және олармен күресу үшін ең тиімді фунгицидтерді таңдау.

Материалдар мен әдістер. Үлгілерді іріктеу кездейсоқ таңдалған ағаштардан жүзеге асырылды, бұл ретте сынамалар төменгі қабаттардан да, жоғарғы қабаттардан да алынды. ДНК бөліп алу GeneJET PCR Purification Kit коммерциялық жиынтығын пайдалана отырып жүргізілді. ДНК фрагменттерін амплификациялау BigDye Terminator жиынтығын қолдана отырып, Сэнгер әдісімен жүргізілді. Алынған секвенирлеу өнімдері ABI 3130XL генетикалық анализаторында (Applied Biosystems, АҚШ) талданды. Хроматограммаларды өңдеу және редакциялау Sequencing Analysis 5.2, Patch 2 (Applied Biosystems, АҚШ) бағдарламасында жүзеге асырылды. Алынған деректер www.ncbi.com сайтындағы дерекқорды қолдана отырып түсіндірілді.

Фунгицидтердің тиімділігін анықтау бойынша тәжірибелерді салу мицелийдің өсуін зерттеуге арналған «улы агар» әдісімен жүргізілді. Тәжірибенің дұрыстығын тексеру СНЕДЕКОР бағдарламасы арқылы жүргізілді.

Нәтижелер. Микроскопиялық зерттеу және молекулярлық-генетикалық талдау негізінде секвенирлеу әдісімен шыршаның *Fusarium tricinctum* зақымданатыны анықталды, ал қарағай мен түйнекте *Alternaria infectoria* анықталды. Фунгицидтердің биологиялық тиімділігін сынау пропиконазол мен пираклостробин негізіндегі препараттардың мицелийдің өсуін 74-87% -ға төмендете отырып, анықталған патогендерге қатысты айқын ингибиторлық белсенділігі бар екенін көрсетті. Ең жоғары әсер Кластро препаратын шыршаларға пайдалану кезінде байқалды, онда мицелий өсуін басу деңгейі 87,4% -ға жетті.

Қорытынды. Микроскопияның дәстүрлі әдістер мен заманауи молекулярлық-генетикалық тәсілдердің үйлесімі фитопатогенді саңырауқұлақтарды неғұрлым дәл сәйкестендіруге және өсімдіктерді қорғаудың неғұрлым тиімді құралдарын таңдауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер орман және қалалық екпелердегі ағаш тұқымдарын біріктірілген қорғау жүйесін әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін, бұл олардың декоративтік және экологиялық құндылығын сақтауға ықпал ететін болады.

Кілт сөздер: сәндік дақылдар; патогендер; ПТР; реттілік; фунгицид; биологиялық тиімділік.

Study of common diseases of pine, spruce and maple and testing the effectiveness of fungicidal preparations

Il'mira Dzhumagulova, Arsen Dzhumagulov, Moldir A. Azhimakhan, Kurmet S. Baibusenov
Talгат K. Makishev

Abstract

Background and Aim. Landscaping parks with ornamental trees today is an important task related to the need to create a comfortable urban environment, improve the environmental situation and increase the aesthetic attractiveness of green areas. The purpose of this study is to identify the most common diseases of ornamental crops and select the most effective fungicides to combat them.

Materials and Methods. Samples were collected from randomly selected trees, including both lower and upper tiers. DNA isolation was performed using a commercial GeneJET PCR Purification Kit. Amplification of DNA fragments was performed by Sanger's method using BigDye Terminator kit. The resulting sequencing products were analyzed on an ABI 3130XL genetic analyzer (Applied Biosystems, USA). Chromatograms were processed and edited in Sequencing Analysis 5.2, Patch 2 (Applied Biosystems, USA). The data obtained were interpreted using a database on the site www.ncbi.com.

Experiments to determine the effectiveness of fungicides were conducted using the “poisoned agar” method, designed to study the growth of mycelium. Validation of the experiment was carried out through the SNEDECOR program.

Results. Based on microscopic examination and molecular genetic analysis by sequencing, it was found that spruce is affected by *Fusarium tricinctum*, while *Alternaria infectoria* was detected on pine and maple. Tests of the biological efficacy of fungicides showed that propiconazole and pyraclostrobin preparations have a pronounced inhibitory activity against the identified pathogens, reducing mycelial growth by 74-87%. The maximum effect was noted when using Clastro on spruce, where the level of inhibition of mycelial growth reached 87.4%.

Conclusion. The combination of traditional microscopy methods and modern molecular genetic approaches allows for more accurate identification of phytopathogenic fungi and selection of the most effective plant protection products. The results obtained can be used in the development of integrated protection systems for tree species in forest and urban plantations, which will help preserve their decorative and environmental value.

Keywords: ornamental crops; pathogens; PCR; sequencing; fungicide; biological efficacy.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - P.-15-26. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2060

УДК 635. 21:632:661.72 (045)

Исследовательская статья

Изучение антифунгального эффекта водно-этанольных экстрактов *Hericium erinaceus* против возбудителей болезней картофеля

Камарова Д.Н. , Хасанов В.Т. , Әжімахан М.Ә. , Сүлейман М.А. , Даулет Д. 

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина
Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Хасанов В.Т.: vadim_kazgatu@mail.ru

Соавторы: (1: ДК) dkamarova10@gmail.com

(2: МӘ) moldir_kazatu@mail.ru; (3: МС) suleiman_madina@mail.ru

(4: ДД) dadaniyar322@gmail.com

Получено: 15.12.2025 **Принято:** 13.01.2026 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. В данной статье представлены результаты исследования антифунгальной активности водно-этанольных экстрактов, полученных из высушенных плодовых тел *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797). Изучено влияние различных параметров экстракции на подавление роста фитопатогенных грибов *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp. – возбудителей опасных заболеваний картофеля. Цель работы – оценить потенциал экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) в качестве биологического средства защиты растений и определить оптимальные условия их получения для максимального сохранения биологически активных веществ.

Материалы и методы. В исследовании использовались экстракты, полученные методом Сокслета при различных режимах температуры и продолжительности экстракции. Оценку антифунгальной активности проводили диско-диффузионным методом на картофельно-глюкозном агаре. В качестве положительного контроля использовали протравитель семян Цитадель, к.с. (тиаметоксам, 262,5 г/л + дифеноконазол, 25 г/л + флудиоксонил, 25 г/л), ТОО «Астана-Нан». В качестве отрицательного контроля применяли стерильную дистиллированную воду, 80%-ный этиловый спирт использовали в качестве внутреннего контроля.

Результаты. Среди шести изученных вариантов водно-этанольных экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797), полученных при различных температурно-временных режимах, наивысшую эффективность продемонстрировал экстракт № 15 (65 °С, 15 ч), ингибируя рост *Fusarium* spp. на 93%. Тот же экстракт № 15 проявил выраженную антифунгальную активность против *Alternaria* spp., при этом ингибирование роста патогена достигало 5,75 %, а колонизация среды - 94%.

Заключение. Полученные данные позволяют рассматривать водно-этанольные экстракты *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) как потенциальное средство биологической защиты картофеля от *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp.

Ключевые слова: *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797); водно-этанольный экстракт; антифунгальная активность; *Fusarium* spp.; *Alternaria* spp.; биологическая защита картофеля.

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, обеспечивающей продовольственную безопасность и экономическую стабильность во многих странах мира. Однако, его производство сталкивается с серьезными угрозами со стороны фитопатогенов, среди которых наиболее разрушительными являются *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp. *Fusarium* spp. вызывают сухую гниль клубней картофеля, что приводит к значительным потерям

при хранении. По данным исследований, в США ежегодные экономические потери от этого заболевания оцениваются в 100-250 млн долларов [1]. Альтернативой – очень распространенное заболевание как картофеля, так и томатов, вызывая пятнистость листьев и клубней картофеля, а также плодовую гниль и поражение стеблей томатов. Это заболевание может проявляться в самых разных климатических условиях и может быть очень разрушительным, если его не контролировать, часто приводя к полной гибели растений [2].

На сегодняшний день разработано много способов противодействия фитопатогенам, однако биологическая борьба остаётся наиболее экологичным и безопасным методом. Ранее в ряде исследований изучалась эффективность биопрепаратов на основе различных штаммов антагонистических микроорганизмов. Наиболее широко применялись штаммы *Trichoderma harzianum* (Г-30 ВИЗР) с титром 10¹⁰ КОЕ/г, обладающие выраженными антагонистическими свойствами в отношении фитопатогенов. Также активно использовались штаммы *Bacillus subtilis*, включая ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D, с титром 10¹⁰ КОЕ/г, зарекомендовавшие себя как эффективные агенты биологической защиты растений [3].

В последнее время возрос интерес к изучению антифунгальных свойств экстрактов базидиальных грибов, в частности *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) – съедобного гриба, относящегося к семейству (*Hericiaceae*) [4]. Исследования показывают, что водно-этанольные экстракты этого вида содержат комплекс биологически активных соединений, включая эринацины, гериценоны и фенольные кислоты, которые проявляют выраженную антимикробную активность [5]. В настоящее время полисахариды, полученные из грибов, вызывают значительный интерес благодаря своим иммуномодулирующим и противораковым свойствам. В современных исследованиях в области медицины и фармацевтической промышленности иммуномодуляторы являются основными активными веществами [6]. Согласно данным исследования *Min Kwak et al.*, водный экстракт отработанного грибного субстрата ежевика гребенчатого проявляет комплексное биологическое действие. Показано, что данный экстракт обладает выраженной антибактериальной активностью, способствует стимуляции роста растений и эффективно подавляет развитие бактериального увядания томата. Авторы отмечают перспективность использования водных экстрактов отработанного грибного субстрата как экологически безопасного средства защиты растений и биостимулятора [7].

Методы экстракции играют ключевую роль в сохранении биологической активности соединений. На эффективность экстрактов может влиять множество факторов, включая вид гриба, условия выращивания (например, состав субстрата, температура, влажность), обработку после сбора гриба и методы экстракции [8]. Согласно исследованиям *Sevindik et al.* (2024), оптимальными параметрами для получения экстрактов, обладающих максимальной антиоксидантной активностью, являются: температура экстракции 60,667 °С, время обработки 7,833 часа и концентрация 1,98 мг/мл [9].

Материалы и методы

В качестве объектов исследований применяли экстракты, полученные из высушенных плодовых тел гриба *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) (штамм - 9514), с целью оценки их противогрибковой активности в отношении патогенов картофеля. Штамм гриба предоставлен Центром съедобных грибов Северо-Западного университета сельского и лесного хозяйства (г. Янлин, Китайская Народная Республика). Экстракты *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) применялись в виде концентратов, обеспечивая возможность определения их предельного биологического эффекта. Культивирование данного гриба, а также получение экстрактов проводили в лаборатории микологии кафедры «Биология, защита и карантин растений» Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина. В исследовании применялись чистые культуры отдела *Ascomycota* – *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp. Колонии исследуемых патогенов культивировали на питательной среде – картофельно-глюкозный агар (КГА) [10]. Оценка антифунгальной активности экстрактов проводилась диско-диффузионным методом [11].

На первом этапе настоящих исследований гриб *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) культивировали в лабораторных условиях. После получения плодовых тел, последние были

собраны и высушены с использованием дегидрататора в течение 19 часов до достижения постоянной массы. После сушки плодовые тела были измельчены в мелкий порошок с помощью мельницы для растительных проб. В исследовании была использована автоматическая система для быстрой экстракции Gerhardt SOX-412 по методу *Сокслета* (Германия). В качестве растворителя для экстракции использовали смесь дистиллированной воды и 90 % этилового спирта в соотношении 1:1.

Температуры 55 °С и 65 °С выбраны исходя из литературных данных, поскольку они обеспечивают эффективное извлечение фенольных и термолабильных соединений *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) без значительной потери их активности. После получения экстрактов методом Сокслета, они подвергались выпариванию для удаления растворителя. Процесс выпаривания проводился с использованием вакуумного роторного испарителя RE-501 до полного удаления растворителя из экстракта. Таким образом, были получены концентрированные водно-этанольные экстракты *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797). Данный этап был необходим для концентрирования экстрактов и удаления остаточного этанола, чтобы исключить его возможное влияние на достоверность результатов в последующих экспериментах.

Эксперимент с экстрактами *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) проводился в трех повторностях. Статистическую обработку результатов эксперимента проводили методом дисперсионного анализа по *Б.А. Доспехову* [12]. В качестве положительного контроля использовали протравитель семян Цитадель, к.с. (тиаметоксам, 262,5 г/л + дифеноконазол, 25 г/л + флудиоксонил, 25 г/л), ТОО «Астана-Нан». В качестве отрицательного контроля применяли стерильную дистиллированную воду, также 80% этиловый спирт использовался как внутренний контроль.

Изучение антифунгальной активности экстрактов в чашках Петри на агаризованной питательной среде осуществляли посредством общепринятой методики [13]. Для максимального сохранения биологически активных веществ полученные концентраты экстрактов не подлежали автоклавированию и подвергались фильтрации через лабораторный стерильный мембранный фильтр с порами 0,22 мкм для образования физического барьера с целью блокирования частиц, бактерий и других микроорганизмов [14]. На поверхность среды, инокулированных патогеном, помещали по четыре бумажных диска, предварительно пропитанных водно-этанольным экстрактом *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797). Чашки Петри с исследуемыми культурами фитопатогенов культивировали в термостате при температуре 24-26 °С. Результаты опыта оценивали на 3-и и 7-е сутки, отмечая степень ингибирования роста патогенов под воздействием экстрактов.

Результаты и обсуждение

На первом этапе проводимых исследования гриб *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) успешно культивировали в лабораторных условиях на древесном субстрате, основу которого составляли берёзовые опилки.

На рисунке 1 представлены грибные блоки с созревшими плодовыми телами *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797), культивируемые в регулируемых условиях.



Рисунок 1 – Интенсивное культивирование *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) в выростном помещении

После созревания плодовых тел *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) они были собраны вручную, взвешены на аналитических весах ($\pm 0,01$ г), а затем нарезаны на полоски толщиной около 2 см. Подготовленное сырьё подвергали сушке в дегидраторе до достижения постоянной массы.

Масса сырья измерялась до и после сушки, а также рассчитывался выход плодовых тел, сырого и сухого продукта. Сушка осуществлялась с целью подготовки материала к последующему этапу экстракции биологически активных веществ методом Сокслета. Таблица 1 содержит данные по параметрам сушки плодовых тел *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797), полученных в первую и вторую волны плодоношения.

Таблица 1 – Результаты сушки плодовых тел *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797)

Параметр	Первая волна	Вторая волна
Масса грибного блока, г	3000	3000
Масса свежего сырья, г	1354,96	884,52
Выход плодовых тел, %	45,2	29,5
Масса после сушки, г	231,54	121,66
Выход сухого продукта, %	17,90	13,75

Полученные нами данные согласуются с литературными наблюдениями, где плодоношение наступило в две волны [15]. На первой волне плодоношения у *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) был зарегистрирован значительно более высокий выход плодовых тел по сравнению со следующими волнами. Несмотря на снижение продуктивности во второй волне, сырьё обеих волн использовалось для дальнейшего получения экстрактов.

На следующем этапе исследований изучали различные режимы получения водно-этанольных экстрактов плодовых тел исследуемого гриба. Было получено 18 экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797). По результатам предварительного скрининга было установлено, что наибольшую антифунгальную активность проявили образцы №14 и №15. В связи с этим, дальнейшие эксперименты проводились исключительно с экстрактами № 14 и № 15, тогда как остальные образцы были исключены из дальнейшего анализа ввиду отсутствия значимых эффектов. Параметры экстракции из полученного порошка из плодовых тел *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исследуемые параметры экстракции плодовых тел *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797)

№ п/п	Температура экстракции, °С	Время экстракции, ч	Выход экстракта до выпаривания, мл	Выход экстракта после выпаривания, мл	Количество растворителя после выпаривания, мл	Время выпаривания, мин
14	65	10	220	92	128	84
15	65	15	228	85	140	122

При увеличении времени экстракции с 10 до 15 часов наблюдалось незначительное повышение объёма экстракта после выпаривания и увеличение продолжительности процесса выпаривания растворителя. Несмотря на минимальные различия в выходе, данные режимы обеспечивали наибольшую стабильность и активность полученных экстрактов, что также послужило основанием для их использования в дальнейших исследованиях.

Далее полученные экстракты *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) использовались для изучения их антифунгальной активности в отношении *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp., культивируемых в лабораторных условиях. На рисунке 2 представлены фрагменты исследований по оценке антифунгальной активности экстрактов диско-диффузионным методом в ламинарном боксе.

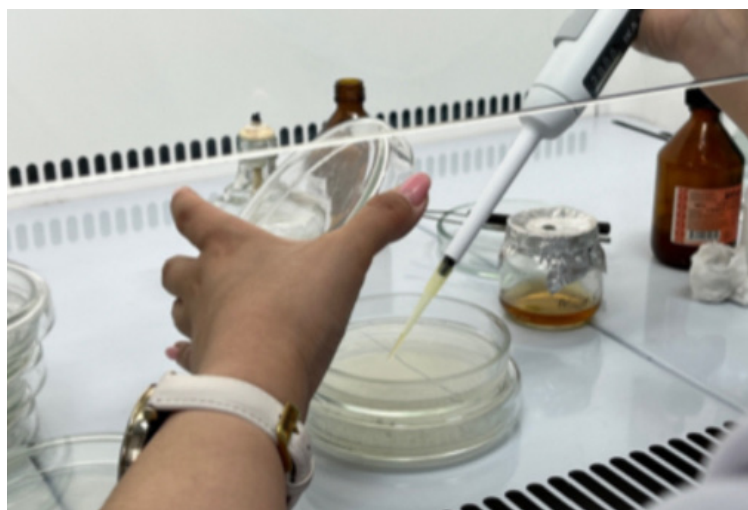


Рисунок 2 – Постановка опыта по изучению антифунгальных свойств экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797)

Результаты изучения антифунгальной активности водно-этанольных экстрактов из высушенных плодовых тел *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) по отношению к *Fusarium* spp. представлены на рисунке 3. В ходе эксперимента наблюдалось ингибирование роста *Fusarium* spp. под действием экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797). Наиболее высокая антифунгальная активность отмечена на вариантах № 14 и № 15.

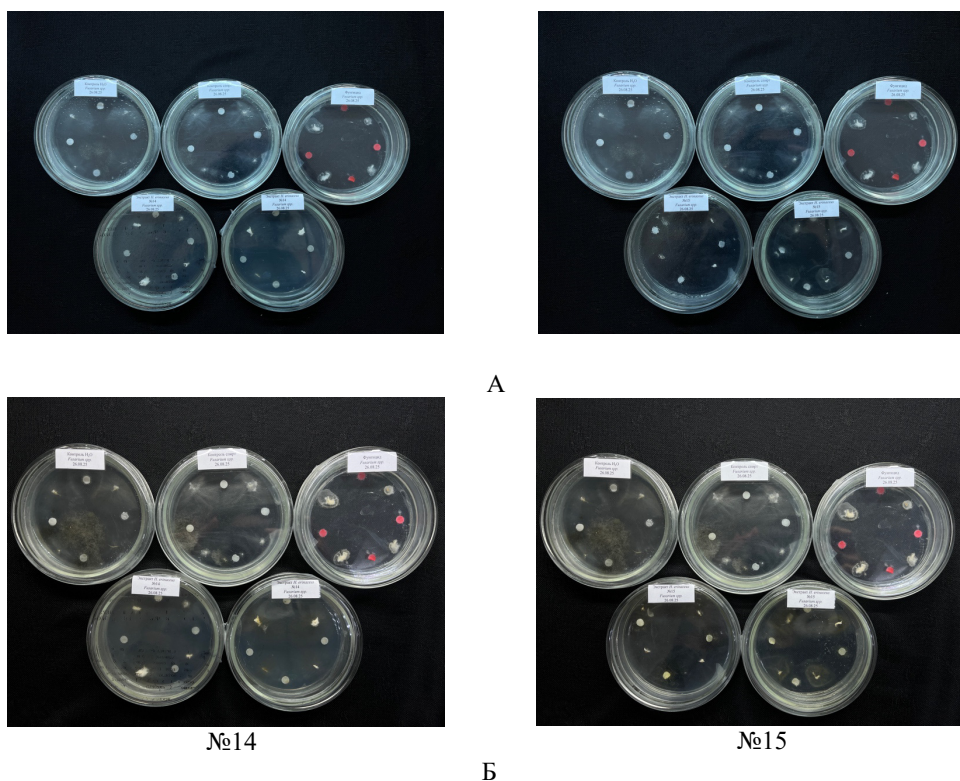


Рисунок 3 – Действие экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) на рост колоний *Fusarium* spp. на 3-и (А) на 7-е (Б) сутки

На 3-и сутки эксперимента было заметно начало роста паутинистого воздушного мицелия *Fusarium* spp. и уже отличимо ингибирующее действие исследуемых вариантов опыта на рост патогена. Так, в чашках Петри вокруг дисков, пропитанных экстрактом, выявлено ограничение развития мицелия фитопатогена, тогда как в контрольных зонах с инокуляцией патогена наблюдался активный равномерный рост, характерный для *Fusarium* spp.

На 7-е сутки была проведена количественная оценка роста патогена, где по среднему диаметру колоний, измеренному в четырех направлениях для каждого посева, рассчитывали площадь и процент колонизации поверхности, а также площадь и процент зоны задержки, что представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная эффективность экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) против *Fusarium* spp.

Название образца	Средний радиус посева (см)	Площадь колонизации (см ²)	Процент колонизации	Чистая площадь (см ²)	Процент зоны задержки патогена
H ₂ O дист. (ОК)	1,78±0,35	9,95	15,64	53,67	84,36
Цитадель (ПК)	0,58±0,11	1,06	1,66	62,56	98,34
Этанол 80% (ВК)	1,87±0,31	10,99	17,28	52,63	82,72
Экстракт <i>H. erinaceus</i> №14	1,60±0,23	8,04	12,64	55,58	87,36
Экстракт <i>H. erinaceus</i> №15	1,32±0,21	5,48	8,61	58,14	91,39

Примечание: «±» – абсолютная ошибка опыта; ПК – Положительный контроль; ОК – отрицательный контроль; ВК – внутренний контроль

Данные таблицы свидетельствуют о том, что исследуемые варианты экстрактов исследуемого вида базидиомицета, за исключением этиловый спирта, который не оказывал ингибирующего эффекта, несколько превосходили положительный контроль. Максимальное ограничение развития патогена установлено у протравителя семян «Цитадель».

У экстракта *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) №15, полученного при температуре 65 °C и более длительном времени экстракции – в течение 15 часов отмечена более выраженная ингибирующая активность роста колоний *Fusarium* spp. по сравнению с экстрактом *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) №14, полученного при той же температуре в течение 10 часов.

В целом, оба экстракта *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) продемонстрировали определенную антифунгальную активность, однако образец №15 был ближе по эффективности к протравителю семян и может рассматриваться как более перспективный для дальнейших исследований.

На следующем этапе исследований активность экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) по отношению к *Alternaria* spp. представлена на рисунке 4.

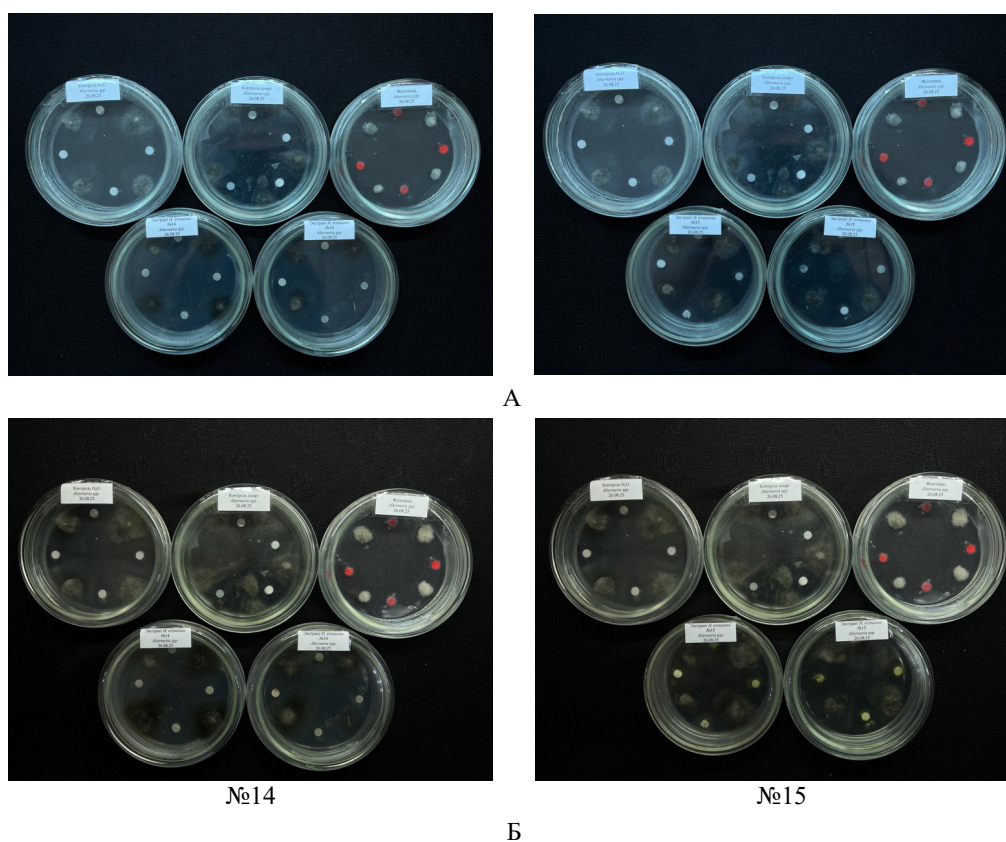


Рисунок 4 – Действие экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) по отношению к *Alternaria* spp. на 3-и (А) и 7-е (А) сутки

На 3-и сутки эксперимента наблюдались первые признаки роста *Alternaria* spp. на всех вариантах опыта. Радиус колоний патогена в чашках Петри с экстрактами был сопоставим, достигая 1,5 см. К 7-м суткам были очевидны существенные различия в эффективности исследуемых экстрактов. В чашке Петри с протравителем семян наблюдался выраженный ингибирующий эффект – патоген сохранял ограниченную зону роста, не распространяясь по всей поверхности агара, в отличие от колоний *Fusarium* spp.

В таблице 3 представлена эффективность экстрактов №14 и №15 в сравнении с протравителем семян, по отношению к *Alternaria* spp.

Таблица 3 – Сравнительная эффективность экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) к *Alternaria* spp.

Название образца	Средний радиус посева (см)	Площадь колонизации (см ²)	Процент колонизации	Чистая площадь (см ²)	Процент зоны задержки патогена
Н ₂ О дист. (ОК)	1,58±0,28	7,84	12,32	55,78	87,68
Цитадель (ПК)	0,59±0,09	1,09	1,71	62,53	98,29
Этанол 80% (ВК)	1,51±0,25	7,16	11,27	56,45	88,73
Экстракт <i>H. erinaceus</i> №14	1,74±0,22	9,51	14,95	54,11	85,05
Экстракт <i>H. erinaceus</i> №15	1,43±0,20	6,43	10,09	57,20	89,91

Примечание: «±» – абсолютная ошибка опыта; ПК – Положительный контроль; ОК – отрицательный контроль; ВК – внутренний контроль

Максимально высокой зоной задержки патогена обладал коммерческий инсекто-фунгицидный препарат. Вариант с экстрактом *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) №15 обеспечил достоверное ограничение роста патогена по сравнению с контролями (ОК, ПК). Экстракт №14 находился на уровне варианта с этиловым спиртом.

Аналогично результатам, полученным при исследовании *Fusarium* spp., экстракт *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) №15 проявил статистически достоверную антифунгальную активность в отношении чистых культур грибов рода *Alternaria* spp. Таким образом, оценка антифунгальной активности экстрактов, полученных экспериментальным путем в сравнении с коммерческим препаратом в условиях *in vitro* в отношении возбудителей экономически значимых болезней картофеля, продемонстрировала статистически значимую антифунгальную активность, в частности, экстракт *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) №15, полученный методом Сокслета при температуре 65 °С и более длительном времени экстракции в течение 15 часов.

Однако, использование грибных экстрактов в равной степени негативно повлияло на отсутствие воздушного мицелия. Согласно литературным данным, химический состав экстрактов, экстрагированных различными растворителями, может отличаться, что приводит к изменению их антимикробных свойств. В целом, отмечается более высокая антибиотическая активность экстрактов *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) в отношении грамположительных микроорганизмов (*Staphylococcus aureus*) и менее выраженная – в отношении грамотрицательных бактерий (*Pseudomonas aeruginosa*) [16].

Стоит отметить высокий уровень эффективности протравителя семян «Цитадель», который в равной мере проявлялся в полном ингибировании роста возбудителей альтернариоза и фузариоза. В проведенном исследовании протравитель семян «Цитадель» показал наибольшую ингибирующую активность в отношении обоих фитопатогенов – *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp. Высокая антифунгальная эффективность препарата связана с наличием в его составе флудиоксонила, обладающего широким спектром противогрибного действия. Данный компонент активен против грибов из отдела *Ascomycota* (в особенности рода *Fusarium*) и *Basidiomycota*, которые способны передаваться с семенами и через почву. Флудиоксонил нарушает осморегуляцию клеток гриба, препятствуя прорастанию спор и росту мицелия, что обеспечивает его выраженное фунгистатическое действие [17].

Заключение

Проведённые исследования показали, что водно-этанольные экстракты *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) №14 и №15, содержащие такие соединения, как эринацины, гериценоны и фенольные кислоты, обладают выраженной антифунгальной активностью в отношении

возбудителя фузариоза и альтернариоза. Установлено, что препараты №14 и №15 практически в равной степени подавляли инфекцию, представленную грибами *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp.: колонизация среды которыми составляла 8,6-12,6% по сравнению с 15% на контроле и 10,0-14,9% против 12,3% контрольного варианта опыта соответственно. Следует отметить, что этанол был более чувствительным для возбудителя альтернариоза, на уровне которого находился и препарат №14.

Результаты подтвердили, что параметры экстракции (температура, время, соотношение растворителей) существенно влияют на антифунгальную активность экстрактов. Из исследованных режимов экстракции в диапазоне 55-65 °С от 5 до 15 часов 2 из 6 экстрактов обладали антифунгальной активностью.

Наилучшие показатели были достигнуты у препарата №15, полученного при экстрагировании порошка из высушенных плодовых тел гриба при температуре 65 °С в течение 15 часов, что обеспечило максимальную сохранность биологически активных соединений.

Кроме того, исследуемые препараты в равной степени приводили к морфологическим изменениям колоний исследуемых патогенов – отсутствие воздушного мицелия грибных колоний. Таким образом, концентрированные биологически активные вещества ежевика гребенчатого обладают ингибирующим эффектом в отношении *Fusarium* spp. и *Alternaria* spp., что подтверждено лабораторными исследованиями. В перспективе режимы экстракции могут быть оптимизированы, а ингибирующие свойства экстрактов против возбудителей микозов могут быть исследованы более масштабно при альтернативном экстрагировании веществ из отходов грибоводства и использованы в качестве биологического средства защиты растений, например, для предпосевной обработки семян или предпосадочной обработке клубней картофеля.

Вклад авторов

ДК, ВХ, МС, ДД: участвовали в постановке эксперимента по исследованию антифунгальной активности экстрактов *H. erinaceus* по отношению к фитопатогенам картофеля. ДК выполнила статистическую обработку и анализ данных, интерпретировала результаты исследования и подготовила рукопись статьи. МС и ДД: подготовили чистые культуры фитопатогенов (*Fusarium* spp., *Alternaria* spp.).

ВХ и ДК: провели окончательную редакцию и вычитку. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Благодарность

Исследования проводились в рамках грантового финансирования МНВО РК проекта ИРН – АР19676907 «Разработка технологии эффективного использования экстрактов и отработанных субстратов грибов как средства защиты картофеля от фитопатогенов с изготовлением кормовой добавки».

Список литературы

- 1 Xue, H., Liu, Q., Yang, Z. (2023). Pathogenicity, mycotoxin production, and control of potato dry rot caused by *Fusarium* spp.: a review. *Journal of Fungi*, 9(8), 843. DOI: 10.3390/jof9080843.
- 2 Tsedaley, B. (2014). Review on early blight (*Alternaria* spp.) of potato disease and its management options. *J Biol Agric Healthc*, 4(27), 191-199.
- 3 Плеханова, Л.П., Булдаков, С.А. (2019). Эффективность действия биопрепаратов и фунгицидов против болезней растений, клубней картофеля и их влияние на урожайность. *Международный научно-исследовательский журнал*, 9-26(87), 28-33.
- 4 National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2025). *NCBI Taxonomy Browser: *Hericium erinaceus* (Taxonomy)*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=91752>
- 5 Thongbai, B., Rapior, S., Hyde, K.D., Wittstein, K., Stadler, M. (2015). *Hericium erinaceus*, an amazing medicinal mushroom. *Mycological Progress*, 14, 1-23. DOI: 10.1007/s11557-015-1105-4.

6 Chakraborty, N., Banerjee, A., Sarkar, A., Ghosh, S., Acharya, K. (2021). Mushroom polysaccharides: a potent immune-modulator. *Biointerface Res Appl Chem*, 11(2), 8915-8930. DOI: 10.33263/BRIAC112.89158930.

7 Kwak, A.M., Min, K.J., Lee, S.Y., Kang, H.W. (2015). Water extract from spent mushroom substrate of *Hericium erinaceus* suppresses bacterial wilt disease of tomato. *Mycobiology*, 43(3), 311-318. DOI: 10.5941/MYCO.2015.43.3.311.

8 Contato, A.G., Conte-Junior, C.A. (2025). Lion's Mane Mushroom (*Hericium erinaceus*): A Neuroprotective Fungus with Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antimicrobial Potential-A Narrative Review. *Nutrients*, 17(8), 1307. DOI: 10.3390/nu17081307.

9 Sevindik, M., Gürgen, A., Khassanov, V.T., Bal, C. (2024). Biological activities of ethanol extracts of *Hericium erinaceus* obtained as a result of optimization analysis. *Foods*, 13(10), 1560. DOI: 10.3390/foods13101560.

10 Кукушкина, К.В. (2025). Влияние состава питательной среды на образование конидий грибами р. *Fusarium*. *Вестник КрасГАУ*, 3, 52-61. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-52-61.

11 Bidaud, A.L., Schwarz, P., Herbreteau, G., Dannaoui, E. (2021). Techniques for the assessment of in vitro and in vivo antifungal combinations. *Journal of Fungi*, 7(2), 113. DOI: 10.3390/jof7020113.

12 Доспехов, Б.А. (1985). *Методика полевого опыта*. М.: Колос, 378.

13 Жевора, С., Федотова, Л.С., Старовойтов, В.И., Зейрук, В.Н., Коршунов, А.В., Пшеченков, К.А., Князева, Е.В. (2019). *Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле*. ФГБНУ ВНИИКХ, 73.

14 Morein, N., Kumars, M., Dunders, G. (2020). *Medicinsk mikrobiologi II: Sterilisering, laboratoriediagnostik og immunrespons*. Cambridge Stanford Books, 418.

15 Kała, K., Cicha-Jeleń, M., Sułkowska-Ziaja, K., Ostachowicz, B., Węgrzynowicz, E., Lazur, J., Muszyńska, B. (2025). Influence of plant-based substrate composition and extraction method on accumulation of bioactive compounds in *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers. fruiting bodies. *Molecules*, 30(15), 3094. DOI: 10.3390/molecules30153094.

16 Mustafin, K., Suleimenova, Z., Akhmetadykov, N., Bisko, N., Zhakipbekova, A. (2025). Study of antimicrobial properties of *Hericium* fungal extracts. *Scientific Horizons*, 28(6), 77-88. DOI: 10.48077/scihor6.2025.77.

17 Список пестицидов, разрешенных к производству (формуляции), ввозу, хранению, транспортировке, реализации и применению на территории Республики Казахстан на 2022-2031 годы. Приложение к приказу председателя комитета государственной инспекции в агропромышленном комплексе Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан от «31» мая 2022 года № 87 -Н.

References

1 Xue, H., Liu, Q., Yang, Z. (2023). Pathogenicity, mycotoxin production, and control of potato dry rot caused by *Fusarium* spp.: a review. *Journal of Fungi*, 9(8), 843. DOI: 10.3390/jof9080843.

2 Tsedaley, B. (2014). Review on early blight (*Alternaria* spp.) of potato disease and its management options. *J Biol Agric Healthc*, 4(27), 191-199.

3 Plekhanova, L.P., Buldakov, S.A. (2019). Effektivnost' dejstviya biopreparatov i fungicidov protiv boleznei rastenii, klubnei kartofelya i ih vliyanie na urozhainost'. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 9-2, (87), 28-33. [in Russ].

4 National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2025). *NCBI Taxonomy Browser: Hericium erinaceus (Taxonomy)*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=91752>.

5 Thongbai, B., Rapior, S., Hyde, K.D., Wittstein, K., Stadler, M. (2015). *Hericium erinaceus*, an amazing medicinal mushroom. *Mycological Progress*, 14(10), 1-23. DOI: 10.1007/s11557-015-1105-4.

6 Chakraborty, N., Banerjee, A., Sarkar, A., Ghosh, S., Acharya, K. (2021). Mushroom polysaccharides: a potent immune-modulator. *Biointerface Res Appl Chem*, 11(2), 8915-8930. DOI: 10.33263/BRIAC112.89158930.

7 Kwak, A.M., Min, K.J., Lee, S.Y., Kang, H.W. (2015). Water extract from spent mushroom substrate of *Hericium erinaceus* suppresses bacterial wilt disease of tomato. *Mycobiology*, 43(3), 311-318. DOI: 10.5941/MYCO.2015.43.3.311.

8 Contato, A.G., Conte-Junior, C.A. (2025). Lion's Mane Mushroom (*Hericium erinaceus*): A Neuroprotective Fungus with Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antimicrobial Potential-A Narrative Review. *Nutrients*, 17: 8, 1307. DOI: 10.3390/nu17081307.

9 Sevindik, M., Gürgen, A., Khassanov, V.T., Bal, C. (2024). Biological Activities of Ethanol Extracts of *Hericium erinaceus* Obtained as a Result of Optimization Analysis. *Foods*, 13(10), 1560. DOI: 10.3390/foods13101560.

10 Kukushkina, K.V. (2025). Vliyanie sostava pitatel'noy sredy na obrazovanie konidiy gribami *Fusarium*. *Vestnik KrasGAU*, 3, 52-61. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-3-52-61. [in Russ].

11 Bidaud, A.L., et al. (2021). Techniques for the assessment of in vitro and in vivo antifungal combinations. *Journal of Fungi*, 7:2, 113. DOI: 10.3390/jof7020113.

12 Dospekhov, B.A. (1985). *Metodika polevogo opyta*. M.: Kolos, 378. [in Russ].

13 Zhevara, S.V., Fedotova, L.S., Starovojtov, V.I., Zejruk, V.N., Korshunov, A.V., Pshechenkov, K.A., Knyazeva, E.V. (2019). *Metodika provedeniya agrotekhnicheskikh opytov, uchetov, nablyudeni i analizov na kartofele*. RIA RPRC, 73. [in Russ].

14 Morein, N., Kumars, M., Dunders, G. (2020). *Medicinsk mikrobiologi II: Sterilisering, laboratoriediagnostik og immunrespons*. Cambridge Stanford Books, 418.

15 Kała, K., Cicha-Jeleń, M., Sułkowska-Ziaja, K., Ostachowicz, B., Węgrzynowicz, E., Lazur, J., Muszyńska, B. (2025). Influence of plant-based substrate composition and extraction method on accumulation of bioactive compounds in *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers. fruiting bodies. *Molecules*, 30(15), 3094. DOI: 10.3390/molecules30153094.

16 Mustafin, K., Suleimenova, Z., Akhmetsadykov, N., Bisko, N., Zhakipbekova, A. (2025). Study of antimicrobial properties of *Hericium* fungal extracts. *Scientific Horizons*, 28(6), 77-88. DOI: 10.48077/scihor6.2025.77.

17 Spisok pesticidov, razreshennyh k proizvodstvu (formulyacii), vvozu, hraneniyu, transportirovke, realizacii i primeneniyu na territorii Respubliki Kazakhstan na 2022-2031 gody. Prilozhenie k prikazu predsedatelya komiteta gosudarstvenno i inspekcii v agropromyshlennom komplekse Ministerstva sel'skogo hozyaistva Respubliki Kazahstan ot «31» maya 2022 goda №87-N. [in Russ].

Картоп ауруларының қоздырғыштарына қарсы *Hericium erinaceus* су-этанол сығындыларының антифунгальды әсерін зерттеу

Камарова Д.Н., Хасанов В.Т., Әжімахан М.Ә., Сүлейман М.А., Даулет Д.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Бұл мақалада *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) кептірілген жеміс денелерінен алынған сулы-этанол сығындыларының антифунгальды белсенділігін зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеу барысында экстракцияның әртүрлі параметрлерінің картоптың қауіпті ауру қоздырғыштары болып табылатын *Fusarium* spp. және *Alternaria* spp. фитопатогенді саңырауқұлақтарының өсуін тежеуге әсері зерттелді. Жұмыстың мақсаты өсімдіктерді қорғаудың биологиялық өнімі ретінде *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) сығындыларының әлеуетін бағалау және биологиялық белсенді заттарды барынша сақтау үшін оларды өсіру мен сақтаудың оңтайлы шарттарын анықтау болды.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында әртүрлі температурада және экстракция уақытында Соклет әдісімен алынған сығындылар қолданылды. Саңырауқұлақтарға қарсы белсенділік картоп-глюкозды ағары қоректік ортасында диск-диффузиялық әдісі арқылы анықталды. Бақылау құралы ретінде «Астана-Нан» ЖШС ұсынған Цитадель тұқым дәрілегіш препараты (тиаметоксам, 262,5 г/л + дифеноконазол, 25 г/л + флудиоксонил, 25 г/л), пайдаланылды. Теріс бақылау ретінде стерильді тазартылған су қолданылды, ал ішкі бақылау ретінде 80%-дық этил спирті пайдаланылды.

Нәтижелер. Әртүрлі температуралық-уақыт режимдерінде алынған *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) сулы-этанольді сығындылардың алты нұсқасының ішінде №15 сығындысы (65

°C, 15 сағ) ең жоғары тиімділікті көрсетті, *Fusarium* spp. өсуін 93%-ға тежеді. Сол №15 экстракты *Alternaria* spp., қарсы айқын антифунгальдық белсенділік көрсетті, онда патогеннің өсуін тежеу 5,75% дейін ортаны колонияландыру кезінде 94% жетті.

Қорытынды. Нәтижелер *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) су-этанол сығындыларын картопты *Fusarium* spp. мен *Alternaria* spp. қарсы биологиялық қорғау құралы ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797); су-этанол сығындылары; саңырауқұлаққа қарсы белсенділік; *Fusarium* spp.; *Alternaria* spp.; картопты биологиялық қорғау.

Assessment of the antifungal properties of water-ethanol extracts of *Hericium erinaceus* against phytopathogenic fungi of potato

Diana N. Kamarova, Vadim T. Khassanov, Moldir Ajimahan, Madina A. Suleiman, Daniyar Daulet

Abstract

Background and Aim. This article presents the results of the study of antifungal activity of water-ethanol extracts, obtained from dried fruit bodies of *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797). The study focused on examining the impact of various extraction conditions on the inhibition of the growth of phytopathogenic fungi, namely *Fusarium* spp. and *Alternaria* spp., which are responsible for harmful potato diseases. The aim of this work was to evaluate the potential use of *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) extracts as a natural plant protection agent, and to determine optimal extraction conditions that would ensure maximum preservation of bioactive compounds.

Materials and Methods. Extracts obtained using the Soxhlet method at different temperatures and extraction times, were used in the study. Antifungal activity was evaluated using the disc diffusion method on potato-dextrose agar. The Citadel seed protectant, c.s. (thiamethoxam, 262.5 g/l + difenoconazole, 25 g/l + fludioxonil, 25 g/l), Astana-Nan LLP was used as a positive control. Sterile distilled water served as a negative control, and 80% ethanol served as an internal control.

Results. Among the six studied variants of water-ethanol extracts of *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) obtained under various temperature and time conditions, extract No. 15(65 °C, 15 h) demonstrated the highest effectiveness by inhibiting the growth of *Fusarium* spp. by 93%. The same extract No. 15 showed pronounced antifungal activity against *Alternaria* spp., where inhibition of pathogen growth reached 5.75% with medium colonization up to 94%.

Conclusion. The results confirm the promising use of water-ethanol extracts of *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797) for the biological protection of potato against *Fusarium* spp. and *Alternaria* spp.

Keywords: *Hericium erinaceus* (Bull.) Persoon (1797); water-ethanol extracts; antifungal activity; *Fusarium* spp; *Alternaria* spp; biological protection of potato.

doi.org/10.51452/eaj.2025.1(129).2090

УДК 635.925

Исследовательская статья

Декоративные кустарники для озеленения северного региона Казахстана

Крекова Я.А.¹ , Чеботько Н.К.¹ , Раушан Ә.Б.² 

¹ ТОО «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана», Щучинск, Казахстан

² Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан

Автор-корреспондент: Крекова Я.А.: yana124.ru@mail.ru

Соавторы: (1: НЧ) chebotkon@mail.ru; (2: ӘР) berikuly003@mail.ru

Получено: 07.11.2025 **Принято:** 15.12.2025 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. Природно-климатические условия Северного Казахстана существенно ограничивают разнообразие местной дендрофлоры и ассортимент декоративных растений, пригодных для озеленения. Интродукция кустарников зарубежной селекции рассматривается как один из эффективных способов расширения ассортимента декоративных растений, устойчивых к неблагоприятному воздействию местных условий. Цель исследования - провести комплексную оценку декоративных качеств интродуцированных видов и сортов декоративных кустарников для определения наиболее перспективных из них для использования в озеленении населенных пунктов Северного Казахстана.

Материалы и методы. Исследования выполнены на базе коллекционных насаждений Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана (КазНИИЛХА), г. Щучинск, Акмолинская область. Объектами исследования являлись 23 вида и сорта декоративных кустарников из восьми родов (*Spiraea* L., *Physocarpus* (Cambess.) Maxim., *Dasiphora* Raf., *Sorbaria* (Ser. ex DC.) A. Braun, *Philadelphus* L., *Forsythia* Vahl, *Syringa* L., *Symphoricarpos* Dill. ex Juss.). Оценка декоративности проведена по комплексу морфологических и фенологических признаков (архитектоника кроны, интенсивность и продолжительность цветения, окраска листьев и цветков, декоративность плодов), а также с учётом зимостойкости и устойчивости к повреждениям. На основании суммарной балльной оценки (1-47 баллов) определена степень декоративности.

Результаты. Высокая степень декоративности (32-42 балла) установлена у 20 видов и сортов кустарников, в том числе у представителей рода *Physocarpus* (Cambess.) Maxim. (41-42 балла), отличающихся хорошей зимостойкостью и декоративной стабильностью. Средняя степень декоративности (30 баллов) у сорта *Spiraea cinerea* «Grefsheim» обусловлена временным отсутствием обильного цветения и ярко выраженной окраски листвы. Низкая степень декоративности у *Philadelphus microphyllus* A. Gray и *Philadelphus grandifloros* Wild. (18-20 баллов) вызвана недостаточным проявлением признаков генеративного развития на момент исследования. Большинство кустарников характеризуются гармоничной архитектурой кроны, обильным цветением, выраженной осенней окраской листвы и устойчивостью к абиотическим факторам, что позволяет рекомендовать их для озеленения населенных пунктов северного региона Казахстана.

Заключение. Результаты исследования свидетельствуют, что интродуцированные декоративные кустарники обладают значительным декоративным и адаптивным потенциалом в условиях Северного Казахстана. Суммарные балльные оценки большинства таксонов позволяют рассматривать их как перспективные объекты для внедрения в озеленительные насаждения.

Ключевые слова: интродукция; озеленение; декоративные кустарники; крона; цветение; Северный Казахстан.

Введение

Климатические и почвенные условия являются основными лимитирующими факторами в отношении распространенности определенных видов растений по территории нашей планеты. Особенно остро ощущается бедность видового разнообразия на территориях с неблагоприятными природно-климатическими условиями, в частности с отрицательными температурами [1]. Одним из ключевых способов расширения разнообразия дендрофлоры таких регионов является интродукция растений, при которой осуществляется введение новых видов, форм и сортов, ранее не произраставших в данной местности, т.е. за пределы их естественного ареала [2, 3]. Интродукция растений древесных видов включает ряд последовательных этапов по акклиматизации и адаптации на протяжении длительного периода времени, в течение которого изучаются процессы, происходящие в растениях и их потомстве в новых условиях роста [4].

Северный Казахстан относится к регионам с ограниченным ассортиментом местной дендрофлоры (123 вида), при котором наибольшая представительность у семейства ивовых (20 видов ив и 6 видов тополей). Ассортимент местной дендрофлоры не может в полной мере обеспечить потребности по благоустройству населенных пунктов разнообразием озеленительных насаждений. Современные подходы к озеленению требуют не только устойчивости растений к абиотическим и антропогенным факторам, но и высокого декоративного эффекта. Ранее проведенные исследования по интродукции растений в северный регион Казахстана позволили рекомендовать для защитного лесоразведения и озеленения 196 видов, в числе которых входят 68 видов деревьев и 128 видов кустарников [5, 6]. Однако, в последние десятилетия наблюдается активное развитие европейских питомников с большим ассортиментом декоративных древесных растений зарубежной селекции [7]. Некоторые из них поступают на рынок Казахстана и высаживаются в озеленительные насаждения без предварительной интродукционной оценки, что не всегда приводит к успешному росту и развитию растений в новых условиях. Особенно остро это ощущается в Северном и Центральном Казахстане, где климат характеризуется резкими перепадами суточных и сезонных температур, дефицитом осадков и мозаичностью почвенного покрова [8, 9].

Из числа древесных растений особый интерес представляют декоративные кустарники, для которых присущ ряд преимуществ: экологическая пластичность, меньшая требовательность к условиям произрастания, способность к быстрому восстановлению кроны, разнообразие форм и размеров крон и т.д. [10]. Особый интерес представляют красивоцветущие и декоративно-лиственные кустарники, которые вносят дополнительный декоративный акцент в ландшафтную композицию озеленительных насаждений. Этим характеристикам соответствуют декоративные кустарники родов *Dasiphora* L., *Spiraea* L., *Physocarpus* (Cambess.) Raf., *Philadelphus* L., *Cornus* L., *Hydrangea* L. В странах дальнего и ближнего зарубежья активно ведутся работы по оценке эстетических качеств декоративных кустарников и возможности их применения [11, 12, 13] и пополнения коллекций новыми перспективными сортами [14]. Особое внимание уделяется долгосрочному изучению морозостойкости, засухоустойчивости, дальнейшему отбору ассортимента декоративных растений, применяемых для ландшафтного дизайна и озеленения [15, 16].

В отечественной практике озеленения отмечается, что вопрос интродукции декоративных кустарников, оценка их адаптивности и декоративности в северных и континентальных регионах особенно актуален. Для формирования ассортимента высокодекоративных кустарников пригодных для формирования композиционных групп при озеленении населенных пунктов проводятся исследования по устойчивости к неблагоприятным факторам воздействия, росту и развитию, динамике цветения, оценки декоративности и др. [17, 18, 19].

Возрастающий интерес к высокодекоративным древесным растениям, в том числе кустарникам при посадке и создании озеленительных насаждений населенных пунктов Северного Казахстана, а также в контексте проведения масштабных работ по озеленению столицы города Астана, возникла необходимость проведения целенаправленных интродукционных исследований для имеющегося ассортимента. В специфических природно-климатических условиях региона проведение таких исследований играет большую роль в оценке адаптивных и декоративных качеств интродуцентов.

Несмотря на наличие отдельных работ по интродукции древесных и кустарниковых растений в различных регионах Казахстана, для северной части страны с неблагоприятными природно-климатическими условиями подобные исследования остаются ограниченными. Учитывая пополняющийся рынок новыми видами и сортами растений зарубежной селекции, возникла необходимость охарактеризовать проявление декоративных качеств ранее интродуцированных декоративных кустарников. Настоящее исследование направлено на восполнение данного пробела, впервые предоставляя систематизированную характеристику отдельных признаков, влияющих на общую декоративность и эстетическую привлекательность. Полученные данные позволяют расширить представление о возможностях адаптации декоративных кустарников, степени проявления декоративных качеств и возможности использования их при озеленении. Таким образом, целью данного исследования является комплексная оценка декоративности видов и сортов кустарников зарубежной селекции, интродуцированных в условия северного региона Казахстана для выявления наиболее перспективных при использовании в озеленении населённых пунктов.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись 23 вида и сорта декоративных кустарников, относящихся к 8 родам (*Spiraea* L., *Physocarpus* (Cambess.) Maxim., *Dasiphora* Raf., *Sorbaria* (Ser. Ex DC.) A. Braun, *Philadelphus* L., *Forsythia* Vahl, *Syringa* L., *Symphoricarpos* Dill. Ex Juss.) из 4 семейств (*Rosaceae* Juss., *Hydrangeaceae* Dumort., *Oleaceae* Hoffmanns. & Link, *Caprifoliaceae* Juss.). Декоративные кустарники были интродуцированы и культивировались в коллекционных насаждениях дендропарка и арборетума КазНИИЛХА (г. Щучинск, Акмолинская область), Северный Казахстан. На момент обследования кустарники характеризовались активным ростом и развитием, проходили фазы вегетативного развития, достигли возраста генеративной зрелости. Оценка декоративности проведена по комплексу признаков, характеризующих внешний вид растений в течение года, а также проявлению устойчивости к внешним неблагоприятным факторам: архитектура кроны, длительность цветения, обилие цветения, окраска и величина цветков, аромат цветков, плодов и листьев, привлекательность внешнего вида плодов, осенняя окраска листьев, продолжительность облиствления, повреждаемость, зимостойкость. Степень декоративности определена на основе суммарных результатов балльной оценки отдельных признаков по следующим группам: очень низкая - 1-10 баллов; низкая - 11-20 баллов; средняя - 21-30 баллов; высокая - 31-47 баллов [20].

Результаты и обсуждение

В результате наблюдений за ростом и развитием декоративных кустарников от начала и до окончания вегетации была дана балльная оценка по каждому признаку, характеризующему декоративность растений (таблица 1).

Таблица 1 – Бальная оценка признаков при комплексной оценке декоративности кустарников в коллекционных насаждениях

Название вида, сорта	Бальная оценка признаков										Сумма баллов
	архитектоника кроны	длительность цветения	обилие цветения	окраска, величина цветков	аромат цветков, плодов	привлекательность плодов	осенняя окраска листьев	продолжительность облиствления	повреждаемость	зимостойкость	
<i>Rosaceae Juss.</i>											
<i>Spiraea L.</i>											
<i>Spiraea japonica</i> «Magic Carpet»	3	5	4	5	2	2	5	3	5	5	39
<i>Spiraea japonica</i> «Goldflame»	3	5	4	5	2	2	5	3	5	5	39
<i>Spiraea japonica</i> «Macrophylla»	3	5	4	5	2	2	5	3	5	5	39
<i>Spiraea</i> × <i>cinerea</i> Zabel	3	4	5	5	1	2	2	4	5	5	36
<i>Spiraea</i> × <i>cinerea</i> «Grefsheim»	3	4	1	3	1	2	2	4	5	5	30
<i>Spiraea</i> × <i>vanhouttei</i> (Briot) Zabel	3	3	5	4	2	2	4	4	5	5	37
<i>Spiraea douglasii</i> Hook.	3	4	2	5	1	2	3	3	5	4	32
<i>Physocarpus (Cambess.) Maxim</i>											
<i>Physocarpus opulifolius</i> «Diabolo»	3	4	4	4	2	5	5	4	5	5	41
<i>Physocarpus opulifolius</i> «Nugget»	3	4	5	4	2	5	5	4	5	5	42
<i>Physocarpus opulifolius</i> «Red Baron»	3	4	4	4	2	5	5	4	5	5	41
<i>Dasiphora Raf.</i>											
<i>Dasiphora fruticosa</i> «Daydawn»	3	5	5	5	0	1	2	4	5	5	35
<i>Dasiphora fruticosa</i> «McKay's White»	3	5	5	5	0	1	2	4	5	5	35
<i>Sorbaria (Ser. Ex DC.) A. Braun</i>											
<i>Sorbaria sorbifolia</i> «Sem»	3	4	5	4	3	3	3	4	5	5	39
<i>Hydrangeaceae Dumort.</i>											
<i>Philadelphus L.</i>											
<i>Philadelphus coronarius</i> L.	3	4	5	4	4	3	3	3	5	5	39
<i>Philadelphus coronarius</i> «Aureus»	3	4	5	4	3	3	4	3	5	4	38
<i>Philadelphus coronarius</i> «Snow avalanche»	3	4	4	4	2	3	3	3	5	4	35

Продолжение таблицы 1

<i>Philadelphus grandifloros</i> Wild.	3	1	0	0	0	0	3	3	5	5	20
<i>Philadelphus microphyllus</i> A. Gray	3	1	0	0	0	0	3	3	4	4	18
<i>Philadelphus Schrenkii</i> Rupr. et Maxim.	3	4	5	4	3	3	3	3	5	5	38
<i>Oleaceae</i> Hoffmanns. & Link											
<i>Forsythia</i> Vahl											
<i>Forsythia ovata</i> Nakai	3	4	3	5	1	1	4	3	5	5	34
<i>Forsythia girdiana</i> Lingelsh.	3	4	3	5	1	1	4	3	5	4	33
<i>Syringa</i> L.											
<i>Syringa vulgaris</i> « <i>Aucubaefolia</i> »	3	4	4	5	3	3	4	3	5	5	39
<i>Caprifoliaceae</i> Juss.											
<i>Symphoricarpos</i> Dill. Ex Juss.											
<i>Symphoricarpos doorenbosii</i> « <i>Magic Berry</i> »	3	4	4	3	1	5	3	3	5	4	35

Одним из ключевых морфологических показателей, определяющим визуальную выразительность в пространстве и общее эстетическое восприятие в озеленительных насаждениях является архитектура кроны растений. Декоративные качества и гармоничность восприятия в растительной композиции декоративных кустарников во многом определяются их густотой ветвления, формой и размером кроны. У исследуемых кустарников архитектура кроны хорошо выражена, габитус типичный для каждого вида и сорта. Скелетные ветви равномерно распределены, что свидетельствует о нормальном росте и состоянии растений. По данному признаку все исследуемые кустарники были оценены 3 баллами. У низкорослых кустарников форма кроны округлая или овальная, тогда как у среднерослого и высокорослого крона более раскидистая, с нечёткими округлыми очертаниями. Ажурность кроны обеспечивает мягкость и пластичность линий, что повышает декоративную ценность данных кустарников при создании ландшафтных композиций различного типа.

Эффект декоративности кустарников может значительно увеличиваться за счёт их цветения. В этот период кустарники повышают визуальную выразительность за счёт наличия множественных одиночных цветков или соцветий в кроне. Подбор ассортимента видов и сортов с различными сроками и продолжительностью цветения позволяет сформировать устойчивую по декоративности композицию, обеспечивающую непрерывное цветение на протяжении всего вегетационного периода. Продолжительность и интенсивность цветения декоративных кустарников зависят от совокупности факторов, среди которых проявление биологические особенностей вида и сорта в условиях интродукции, а также влияние абиотических факторов и агротехнических мероприятий.

На период проведения исследований фаза цветения отсутствовала у двух видов – *Philadelphus microphyllus* A. Gray и *Philadelphus grandifloros* Wild. (1 балл). Однако, стоит учитывать, что отсутствие цветения этих видов носит временный характер, обусловленный физиологическим циклом развития растений и в дальнейшем ожидается своевременное наступление этой фазы, как и в предыдущие годы наблюдений. Непродолжительное цветение отмечено у *Spiraea ×vanhouttei* (Briot) Zabel – 3 балла.

Установлено, что у более половины изучаемых кустарников (65,22%) средний период продолжительности цветения длился не более 1 месяца (рисунок 1).

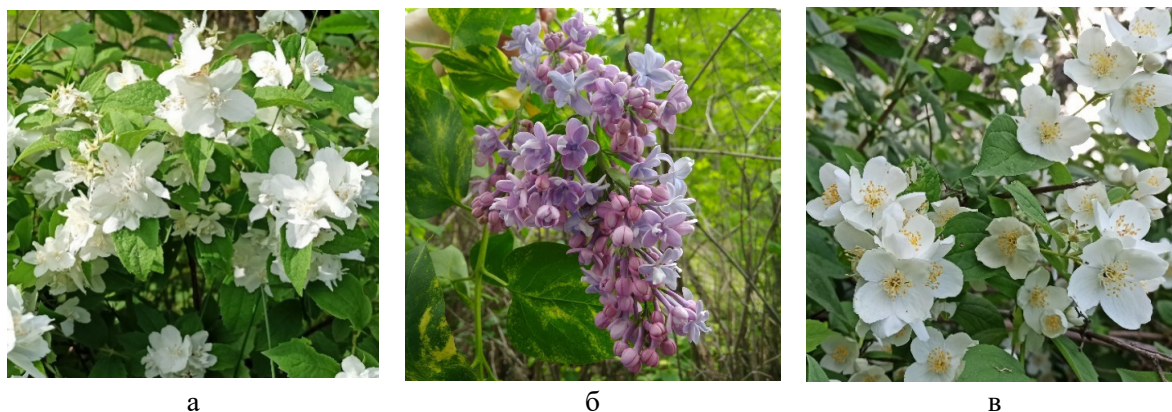


Рисунок 1 – Кустарники со средним периодом продолжительности цветения:
а – *Philadelphus coronarius* «Snow avalanche»; б - *S. vulgaris* «Aucubaefolia»;
в – *Philadelphus coronarius* L.
(фото Крековой Я.А.)

Благодаря выраженным декоративным качествам, особо ярко проявляющихся во время цветения *Philadelphus coronarius* L. и его сорта получили широкое распространение в различных типах озеленительных насаждений [21].

Доля продолжительно цветущих кустарников составляла 21,74%, в число которых входят представители родов *Spiraea* L. и *Dasiphora fruticosa* (L.) O. Schwarz: *S. japonica* «Goldflame», *S. japonica* «Magic Carpet», *S. japonica* «Macrophylla», *D. fruticosa* «McKay's White», *D. fruticosa* «Daydawn» (рисунок 2).

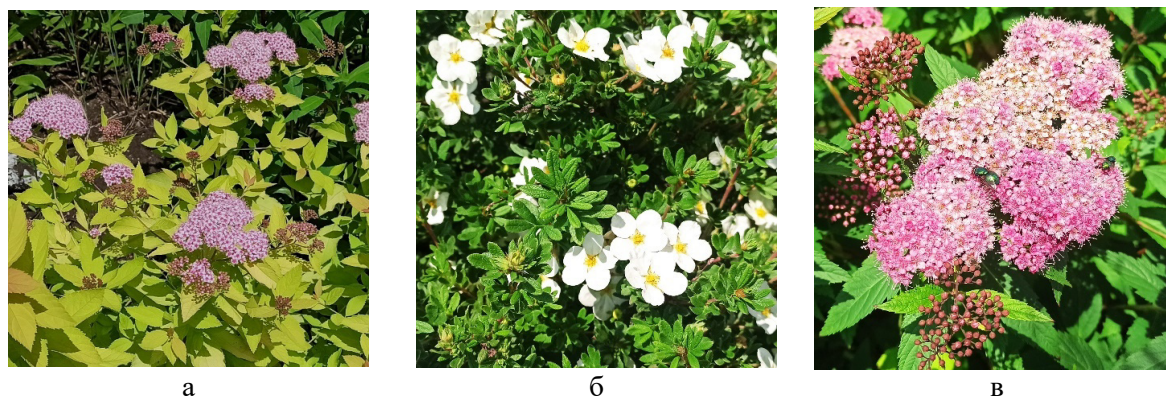


Рисунок 2 – Кустарники с продолжительным периодом цветения:
а – *S. japonica* «Magic Carpet»; б – *D. fruticosa* «McKay's White»; в – *S. japonica* «Goldflame»
(фото Крековой Я.А.)

Кустарники *Dasiphora fruticosa* L. и ее сорта получили широкое распространение и активно применяются для современного зелёного строительства в ряде регионов и стран благодаря обильному и продолжительному цветению. Отмечена высокая адаптивность, декоративность и устойчивость к болезням и вредителям представителей данного рода. Кроме того установлено, что высокая декоративность кустарников *Dasiphora fruticosa* L. проявляется и в более жёстких условиях культивирования (Центральная и Западная Сибирь) и рекомендуется в озеленительные посадки для формирования невысоких живых изгородей [22].

При оценке декоративных качеств цветущих растений большое значение отведено морфологическим параметрам генеративных органов, среди которых важное значение имеют окраска и размер цветков. Насыщенность окраски и ее устойчивость к выцветанию под воздействием солнечного излучения, размер и форма цветка или соцветия являются важными показателями при сравнительной оценке декоративности различных видов и сортов кустарников.

Не обильное цветение было отмечено у *S. cinerea* «Grefsheim» и *S. douglasii* Hook. (1 и 2 балла соответственно). Высокая степень цветения установлена для 73,91% видов и форм кустарников, на которых отмечено массовое образование цветков (рисунок 3).



Рисунок 3 – Кустарники с обильным цветением:
а – *S. ×cinerea* Zabel; б – *F. ovata* Nakai
(фото Крековой Я.А.)

Наивысшим балом были оценены кустарники (43,48%) с наиболее ярко выраженными цветами, которые являются акцентом как на самом кустарнике, так и на общем фоне. К таким кустарником были отнесены: *Forsythia girdiana* Lingelsh., *F. ovata* Nakai, *S. ×cinerea* Zabel, *S. japonica* «Goldflame», *S. japonica* «Magic Carpet», *S. japonica* «Macrophylla», *S. douglasii* Hook., *Dasiphora fruticosa* «McKay's White», *D. fruticosa* «Daydawn», *Syringa vulgaris* «Aucubaefolia». Цветы или соцветия остальных изучаемых видов и сортов были менее декоративны и в зависимости от их размеров и окраски были оценены баллами от 0 до 4.

Из всего разнообразия кустарников наиболее декоративный внешний вид плодов был у представителей рода *Physocarpus* (Cambess.) Raf. (3 сорта) и *Symphoricarpos doorenbosii* «Magic Berry» (рисунок 4).



Рисунок 4 – Кустарники с декоративными плодами:
а – *Symphoricarpos doorenbosii* «Magic Berry»; б – *Physocarpus opulifolius* «Red Baron»
(фото Крековой Я.А.)

Для листопадных кустарников период облиствления является важным показателем, определяющим продолжительность декоративного эффекта. На формирование общего

восприятия растения или ландшафтной группы большое значение оказывают интенсивность и равномерность распускания листьев, а также период полного облиствения. Согласно проведенной оценке по продолжительности облиствения у большей доли изучаемых кустарников (60,87%), этот период характеризовался сочетанием раннего или позднего распускания листьев с ранним или умеренно поздним листопадом (3 балла). Остальная доля кустарников (39,13%) отличалась продолжительным периодом облиственности с ранним распусканием и поздним опадением листьев (4 балла).

Помимо продолжительности периода облиственности декоративность может усиливаться за счет цветового разнообразия, яркости и насыщенности осенней окраски листьев. В числе исследуемых кустарников кроме одноцветной зеленой окраски листьев присутствовали виды и сорта с пестролистностью и цветными оттенками (красный, желтый, пурпурный и др.). Декоративный эффект растений с подобными морфологическими особенностями усиливался в осенний период, в результате чего они были оценены 5 баллами (рисунок 5).



Рисунок 5 – Декоративнолиственные кустарники в осенний период:
а – *Physocarpus opulifolius* «Nugget»; б – *S. japonica* «Magic Carpet»
(фото Крековой Я.А.)

Значительных изменений в окраске листьев отмечено не было у кустарников *S. cinerea* и ее сорта «Grefsheim», а также у сортов *Dasiphora* L. (2 балла). У остальных видов и сортов осенняя окраска листьев была желтых и оранжевых оттенков с вкраплениями разных цветов и оценена 3 баллами.

Отсутствие повреждений и признаков заболеваний у растений положительно сказывается при общем восприятии декоративной ландшафтной композиции. В результате визуальной оценки по данному показателю учитывалось наличие или отсутствие механических повреждений, признаки поражения фитопатогенами и вредителями, состояние скелетных и боковых ветвей. По результатам обследования кустарников было установлено, что все исследуемые виды и сорта не имели видимых повреждений как механического, так и биологического происхождения и характеризовались как здоровые (5 баллов). При оценке зимостойкости незначительное обмерзание побегов установлено у *F. giraldiana* Lingelsh., *S. douglasii* Hook., *Ph. coronarius* «Aureus», *Ph. coronarius* «Snow avalanche» и *S. doorenbosii* «Magic Berry» (4 балла). Несмотря на некоторые повреждения побегов данные виды и сорта в период активного роста восстанавливали крону за счёт формирования новых побегов. Зимостойкость остальных видов и сортов была достаточно высокой (5 баллов).

По результатам суммарной оценки наибольшая сумма баллов была у сортов рода *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. – от 41 до 42 баллов, что свидетельствует о наивысшей степени декоративности среди исследуемого разнообразия кустарников. Проявление высокой декоративности и экологическая пластичность *Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim. и некоторых

его сортов способствовали применению этих растений в озеленении в широком диапазоне климатических условий – от холодного умеренного до теплого субтропического климата [23, 24].

Незначительно уступают по сумме баллов виды и сорта из рода *Spiraea* L. – 30-39 баллов. Снижение декоративности отдельных видов и сортов обусловлена отсутствием яркой цветовой гаммы листвы в осенний период и недостаточно обильным цветением (*Spiraea douglasii* Hook. и *Spiraea* × *cinerea* «Grefsheim»). Однако, снижение декоративности носит временный характер и связан преимущественно с биологическим ритмом и влиянием климатических условий в период прохождения определенных фаз развития. В более благоприятные сезоны данные признаки могут проявиться в большей степени и усилить декоративный эффект. Благодаря большому разнообразию форм и размеров кустов, соцветий и окраски цветков, срокам и продолжительности цветения виды и сорта *Spiraea* L. широко применяются в садово-парковом строительстве в посадках различного назначения и при создании декоративных композиций непрерывного цветения [25, 26, 27]. Остальные исследуемые виды и сорта, несмотря на несколько меньшие суммарные баллы, характеризуются стабильным проявлением декоративных признаков на протяжении вегетационного периода.

Заключение

По результатам комплексной оценки декоративности кустарников из коллекционных насаждений, высокая степень (32-42 балла) была установлена для 20 видов и сортов кустарников: *Spiraea douglasii* Hook., *S.* × *cinerea* Zabel, *S.* × *vanhouttei* (Briot) Zabel, *S. japonica* «Magic Carpet», *S. japonica* «Goldflame», *S. japonica* «Macrophylla», *Forsythia giraldiana* Lingelsh., *F. ovata* Nakai, *Symphoricarpos doorenbosii* «Magic Berry», *Dasiphora fruticosa* «Daydawn», *D. fruticosa* «McKay's White», *Philadelphus coronarius* «Snow avalanche», *Ph. Schrenkii* Rupr. et Maxim., *Ph. coronarius* «Aureus», *Ph. coronarius* L., *Syringa vulgaris* «Aucubaefolia», *Sorbaria sorbifolia* «Sem», *Physocarpus opulifolius* «Red Baron», *P. opulifolius* «Diabolo», *P. opulifolius* «Nugget». Данные растения сохраняют привлекательный внешний вид, гармоничную архитектуру кроны, однородную облиственность, обильное цветение и др. Совокупность этих признаков обеспечивает их декоративную ценность и перспективность для использования в озеленительных насаждениях.

В соответствии с суммарным количеством балльных оценок по всем признакам средняя степень декоративности (30 баллов) установлена для одного сорта – *S. cinerea* «Grefsheim», у которого в осенний период окрашивание листьев не имело ярко выраженной цветовой гаммы, а также временно отсутствовало обильное цветение. Для двух видов – *Ph. microphyllus* A. Gray, *Ph. grandifloros* Wild. установлена низкая степень декоративности (18 и 20 баллов), в виду единичного цветения или полного его отсутствия, а также отсутствия выраженной яркой осенней окраски листьев.

Вклад авторов

ЯК: общее руководство, проведение работ на всех этапах исследования, написание статьи, НЧ: сбор материала, литературный обзор, написание разделов статьи, ЭР: сбор полевого материала и его обработка, техническое редактирование.

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Министерством экологии и природных ресурсов Республики Казахстан BR23590517.

Список литературы

1 Zuquim, G., Costa, F.R.C., Tuomisto, H., Moulatlet, G.M., Figueiredo, F.O.G. (2020). The importance of soils in predicting the future of plant habitat suitability in a tropical forest. *Plant Soil*, 450, 151-170. DOI:10.1007/s11104-018-03915-9.

2 Лапин, П.И. (1972). О терминах, применяемых в исследованиях по интродукции и акклиматизации растений. *Бюллетень ГБС*, 83, 10-18.

- 3 Кожевников, А.П. (2016). *Теория и практика интродукции древесных растений*. Екатеринбург: Изд-во Уральского ГАУ, 120.
- 4 Елисафенко, Т.В., Дорогина, О.В., Куприянов, А.Н. (2022). Этапы развития интродукции как научной деятельности. *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*, 21(2), 26-29. DOI:10.14258/pbssm.2022048.
- 5 Верзунов, А.И., Маловик, С.В. (2010). *Рекомендации по ассортименту и технологии создания плантаций интродуцентов (Северный Казахстан)*. Астана: 26.
- 6 Крекова, Я.А., Залесов, С.В., Соловьева, М.В. (2020). Ассортимент древесных растений, используемых в зеленом строительстве в Северной части Казахстана. *Леса России и хозяйство в них*, 3(74), 27-36.
- 7 Jabłońska, L., Kowalczyk, D., Olewnicki, D. (2014). Polish foreign trade in ornamental nursery plants after the accession to the EU. *Problems of World Agriculture*, 14(4), 72-82. DOI: 10.22004/ag.econ.198870.
- 8 *Агроклиматические ресурсы Акмолинской области: научно-прикладной справочник*. (2017). Под ред. С.С. Байшоланова. Астана:133.
- 9 Павлова, В.Н., Караченкова, А.А., Романенков, В.А. (2023). Оценка изменений агроклиматических ресурсов в Центральной Азии и сопредельных областях России. *Фундаментальная и прикладная климатология*, 9(3), 298-317. DOI:10.21513/2410-8758-2023-3-298-317.
- 10 Götmark, F., Götmark, E., Jensen, A.M. (2016). Why be a shrub? A basic model and hypotheses for the adaptive values of a common growth form. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1095. DOI:10.3389/fpls.2016.01095.
- 11 Fernandes, C.O., Teixeira, C.R., Veludo, M. (2025). Greening urban landscapes: A systematic literature review of planting design for resilient and livable cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 107, 128793. DOI: 10.1016/j.ufug.2025.128793.
- 12 Lakicevic, M., Reynolds, K.M., Orlovic, S., Kolarov, R. (2022). Measuring dendrofloristic diversity in urban parks in Novi Sad (Serbia). *Trees People*, 8, 100239. DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100239.
- 13 Ghafari, S., Kaviani, B., Sedaghatoor, S., Allahyari, M.S. (2020). Ecological potentials of trees, shrubs and hedge species for urban green spaces by multi criteria decision making. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126824. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126824.
- 14 Baronienè, V. (2010). New selections of woody ornamentals in Dubrava Arboretum. *Acta Horticulturae*, 885, 55-59. DOI:10.17660/ActaHortic.2010.885.6.
- 15 West, T.P. (2020). Ornamental woody plant breeding, selection and evaluations for cold climate conditions. *Acta Horticulturae*, 1291, 159-162. DOI:10.17660/ActaHortic.2020.1291.19.
- 16 Bell, N.C., Owen, J., Stoven, H., Altland, J. (2013). Selection of drought-tolerant shrubs for temperate Mediterranean climates. *Acta Horticulturae*, 980, 111-117. DOI:10.17660/ActaHortic.2013.980.14.
- 17 Винокуров, А.А., Исакова, Е.А., Данилова, А.Н., Иманбаева, А.А. (2021). Интродукционный анализ древесно-кустарниковых растений дендрария Алтайского ботанического сада. *Fundamental and Experimental Biology*, 104(4), 14-21. DOI:10.31489/2021bmg4/14-21.
- 18 Гордеева, Г.Н., Лобанов, А.И. (2022). Продолжительность жизненного цикла и зимостойкость древесных интродуцентов в сухостепной зоне Хакасии. *Известия вузов. Лесной журнал*, 3, 73-90. DOI:10.37482/0536-1036-2022-3-73-90.
- 19 Мифтахова, С.А. (2024). Антэкологические особенности некоторых раннецветущих кустарников при интродукции на Севере. *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*, 23(2), 255-259. DOI:10.14258/pbssm.2024101.
- 20 Залывская, О.С., Бабич, Н.А. (2012). Шкала комплексной оценки декоративности деревьев и кустарников в городских условиях на севере. *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*, 1(15), 96-104.
- 21 Павленкова, Г.А. (2017). Эколого-биологическая оценка представителей семейства *Hydrangeaceae* Dumort генофонда дендрария ВНИИСПК. *Современное садоводство – Contemporary horticulture*, 4, 131-139.
- 22 Емельянова, О.Ю., Цой, М.Ф., Павленкова, Г.А., Фирсов, А.Н., Масалова, Л.И. (2018). Итоги интродукции видов семейства *Rosaceae* Juss. генофонда ВНИИСПК. *Вестник Российской с/х науки*, 6, 30-33.

23 Куклина, Т.Э., Мерзлякова, И.Е. (2015). Декоративные деревья и кустарники в озеленении г. Томска. *Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии*, 14, 470-478.

24 Карташова, Н.П., Хазова, Е.П. (2021). Озеленение территорий высших учебных заведений г. Воронежа. *Лесотехнический журнал*, 11(2), 80-90.

25 Абрамчук, А.В., Карташева, Г.Г., Карпущин, М.Ю. (2013). *Садово-парковое и ландшафтное искусство*. Екатеринбург: 612.

26 Плотникова, Л.С. (2014). Спирея в природе и культуре. *Лесохозяйственная информация*, 4, 54-58.

27 Смирнова, З.И. (2018). Перспективы использования многочисленных видов и сортов спирей в городском озеленении. *Вестник Университета Правительства Москвы*, 1(39), 57-61.

References

1 Zuquim, G., Costa, F.R.C., Tuomisto, H., Moulatlet, G.M., Figueiredo, F.O.G. (2020). The importance of soils in predicting the future of plant habitat suitability in a tropical forest. *Plant Soil*, 450, 151-170. DOI:10.1007/s11104-018-03915-9.

2 Lapin, P.I. (1972). О терминах, применяемых в исследованиях по интродукции и акклиматизации растений. *Бюллетен ГИС*, 83, 10-18. [in Russ].

3 Kozhevnikov, A.P. (2016). *Теория и практика интродукции древесных растений*. Екатеринбург: Изд-во Урал'sкого GAU, 120. [in Russ].

4 Elisafenko, T.V., Dorogina, O.V., Kupriyanov, A.N. (2022). Etapy razvitiya introduktsii kak nauchnoi deyatel'nosti. *Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii*, 21(2), 26-29. DOI:10.14258/pbssm.2022048. [in Russ].

5 Verzunov, A.I., Malovik, S.V. (2010). *Рекомендации по ассортименту и технологии создания плантации интродуцентов (Северный Казахстан)*. Астана: 26. [in Russ].

6 Krekova, Y.A., Zalesov, S.V., Solovyeva, M.V. (2020). Assortiment drevesnykh rastenii, ispol'zuemykh v zelenom stroitel'stve v Severnoi chasti Kazakhstana. *Les Rossii i khozyaistvo v nikh*, 3(74), 27-36. [in Russ].

7 Jabłońska, L., Kowalczyk, D., Olewnicki, D. (2014). Polish foreign trade in ornamental nursery plants after the accession to the EU. *Problems of World Agriculture*, 14(4), 72-82. DOI: 10.22004/ag.econ.198870.

8 *Агроклиматические ресурсы Акмолинской области: научно-прикладной справочник*. (2017). Под ред. S.S. Baisholanova. Астана: 133. [in Russ].

9 Pavlova, V.N., Karachenkova, A.A., Romanenkov, V.A. (2023). Otsenka izmenenii agroklimaticheskikh resursov v Tsentral'noi Azii i sopredel'nykh oblastiakh Rossii. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, 9(3), 298-317. DOI:10.21513/2410-8758-2023-3-298-317. [in Russ].

10 Götmark, F., Götmark, E., Jensen, A.M. (2016). Why be a shrub? A basic model and hypotheses for the adaptive values of a common growth form. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1095. DOI:10.3389/fpls.2016.01095.

11 Fernandes, C.O., Teixeira, C.R., Veludo, M. (2025). Greening urban landscapes: A systematic literature review of planting design for resilient and livable cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 107, 128793. DOI: 10.1016/j.ufug.2025.128793.

12 Lakicevic, M., Reynolds, K.M., Orlovic, S., Kolarov, R. (2022). Measuring dendrofloristic diversity in urban parks in Novi Sad (Serbia). *Trees People*, 8, 100239. DOI: 10.1016/j.tfp.2022.100239.

13 Ghafari, S., Kaviani, B., Sedaghatoor, S., Allahyari, M.S. (2020). Ecological potentials of trees, shrubs and hedge species for urban green spaces by multi criteria decision making. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126824. DOI: 10.1016/j.ufug.2020.126824.

14 Baroniene, V. (2010). New selections of woody ornamentals in Dubrava Arboretum. *Acta Horticulturae*, 885, 55-59. DOI:10.17660/ActaHortic.2010.885.6.

15 West, T.P. (2020). Ornamental woody plant breeding, selection and evaluations for cold climate conditions. *Acta Horticulturae*, 1291, 159-162. DOI:10.17660/ActaHortic.2020.1291.19.

16 Bell, N.C., Owen, J., Stoven, H., Altland, J. (2013). Selection of drought-tolerant shrubs for temperate Mediterranean climates. *Acta Horticulturae*, 980, 111-117. DOI:10.17660/ActaHortic.2013.980.14.

17 Vinokurov, A.A., Isakova, E.A., Danilova, A.N., Imanbaeva, A.A. (2021). Introduktsionnyy analiz drevesno-kustarnikovykh rasteniy dendrariya Altayskogo botanicheskogo sada. *Fundamental and Experimental Biology*, 104(4), 14-21. DOI:10.31489/2021bmg4/14-21. [in Russ].

18 Gordeeva, G.N., Lobanov, AI. (2022). Prodolzhitel'nost' zhiznennogo tsikla i zimostoykost' drevesnykh introducentov v suhostepnoy zone Khakasii. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 3, 73-90. DOI:10.37482/0536-1036-2022-3-73-90. [in Russ].

19 Miftakhova, S.A. (2024). Antekologicheskie osobennosti nekotorykh rannecvetushchikh kustarnikov pri introduktsii na Severe. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii*, 23(2), 255-259. DOI:10.14258/pbssm.2024101. [in Russ].

20 Zalyvskaaya, O.S., Babich, N.A. (2012). Shkala kompleksnoy otsenki dekorativnosti derevev i kustarnikov v gorodskikh usloviyakh na severe. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 1(15), 96-104. [in Russ].

21 Pavlenkova, G.A. (2017). Ekologo-biologicheskaya otsenka predstaviteley semeystva Hydrangeaceae Dumort. genofonda dendrariya VNIISPK. *Sovremennoe sadovodstvo-Contemporary horticulture*, 4, 131-139. [in Russ].

22 Emelyanova, O.Yu., Tsoi, M.F., Pavlenkova, G.A., Firsov, A.N., Masalova, L.I. (2018). Itogi introduktsii vidov semeystva Rosaceae Juss. genofonda VNIISPK. *Vestnik Rossiyskoy s/h nauki*, 6, 30-33. [in Russ].

23 Kuklina, T.E., Merzlyakova, I.E. (2015). Dekorativnye derevya i kustarniki v ozelenenii g. Tomsk. *Problemy botaniki Yuzhnoy Sibiri i Mongolii*, 14, 470-478. [in Russ].

24 Kartashova, N.P., Khazova, E.P. (2021). Ozelenenie territoriy vysshikh uchebnykh zavedeniy g. Voronezha. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 11(2), 80-90. [in Russ].

25 Abramchuk, A.V., Kartasheva, G.G., Karpukhin, M.Y. (2013). *Sadovo-parkovoe i landshaftnoe iskusstvo*. Yekaterinburg: 612. [in Russ].

26 Plotnikova, L.S. (2014). Spirea v prirode i kulture. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*, 4, 54-58. [in Russ].

27 Smirnova, Z.I. (2018). Perspektivy ispol'zovaniya mnogochislennykh vidov i sortov spirey v gorodskom ozelenenii. *Vestnik Universiteta Pravitel'stva Moskvu*, 1(39), 57-61. [in Russ].

Қазақстанның солтүстік өңірін көгалдандыруға арналған сәндік бұталар

Крекова Я.А., Чеботько Н.К., Раушан Ә.Б.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Солтүстік Қазақстанның табиғи-климаттық жағдайлары жергілікті дендрофлораның түрлік құрамын және көгалдандыруға жарамды сәндік өсімдіктер ассортиментін айтарлықтай шектейді. Шетелдік селекциядағы сәндік бұталарды интродукциялау жергілікті қолайсыз экологиялық жағдайларға төзімді сәндік өсімдіктердің ассортиментін кеңейтудің тиімді тәсілдерінің бірі болып табылады. Зерттеудің мақсаты – Солтүстік Қазақстан жағдайында интродукцияланған сәндік бұталардың түрі мен сұрыптарының сәндік қасиеттерін кешенді бағалау арқылы көгалдандыруда пайдалануға ең перспективті нысандарды анықтау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институтының (ҚазОШАҒЗИ, Ақмола обл., Щучинск қ.) коллекциялық екпелерінде жүргізілді. Зерттеу нысандары ретінде сегіз туысқа (*Spiraea* L., *Physocarpus* (Cambess.) Maxim., *Dasiphora* Raf., *Sorbaria* (Ser. Ex DC.) A. Braun, *Philadelphus* L., *Forsythia* Vahl, *Syringa* L., *Symphoricarpos* Dill. Ex Juss.) жататын сәндік бұталардың 23 түрі мен сұрыбы алынды. Сәнділік морфологиялық және фенологиялық белгілер кешені бойынша (тәж архитектурасы, гүлдеу ұзақтығы мен қарқындылығы, жапырақ пен гүлдің түсі, жемістердің көркемдігі), сондай-ақ қыстап шығу қабілеті мен зақымдануға төзімділігі бойынша бағаланды. Жалпы сәнділік деңгейі 1-47 балдық шкала бойынша анықталды.

Нәтижелер. Жоғары сәнділік деңгейі (32-42 балл) 20 түр мен сұрыпта анықталды. Олардың ішінде *Physocarpus* (Cambess.) Maxim. туысының өкілдері (41-42 балл) жоғары, қыстап шығу

қабілетімен және сәндік тұрақтылығымен ерекшеленді. *Spiraea cinerea* «Grefsheim» (30 балл) сұрыбында сәнділік деңгейі орташа мол гүлдеудің уақытына болмауы және жапырақтың айқын боялмауына байланысты болды. *Philadelphus microphyllus* A. Gray және *Philadelphus grandiflorus* Wild. түрінде анықталған сәнділіктің төмен деңгейі (18-20 балл) зерттеу жүргізу сәтінде генеративтік дамудың белгілерінің жеткілікті байқалмауымен байланысты болды. Зерттелген бұталардың көпшілігі үйлесімді тәж құрылымымен, мол гүлдеуімен, жапырақтардың айқын күзгі түсімен және абиотикалық факторларға төзімділігімен ерекшеленді. Бұл қасиеттер оларды Солтүстік Қазақстан өңірінің елді мекендерін көгалдандыруға ұсынуға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері интродукцияланған сәндік бұталардың Солтүстік Қазақстан жағдайында жоғары сәндік және бейімделгіштік әлеуетке ие екенін көрсетеді. Көптеген таксондардың жиынтық балдық бағалары оларды көгалдандыру екпелеріне енгізуге лайық нысандар ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: интродукция; көгалдандыру; сәндік бұталар; тәж; гүлдеу; Солтүстік Қазақстан.

Ornamental shrubs for landscaping in the Northern Region of Kazakhstan

Yana A. Krekova, Nadezhda K. Chebotko, Arsen B. Raushan

Abstract

Background and Aim. The natural and climatic conditions in Northern Kazakhstan significantly restrict the diversity of indigenous dendrofloral species and the range of suitable ornamental plants for landscaping purposes. The introduction of foreign-selected ornamental shrub varieties is considered an effective approach to expanding the range of resistant ornamental plant species that can withstand the adverse effects of the local environment. The aim of this study is to comprehensively evaluate the ornamental characteristics of introduced species and varieties of ornamental shrub plants in order to identify the best candidates for use in landscaping projects in Northern Kazakhstan settlements.

Materials and Methods. The research was carried out at the plant collections of the KazRIFA (Shchuchinsk, Akmola Region). The study included 23 varieties and species of ornamental bushes belonging to eight different genera (*Spiraea* L., *Physocarpus* (Cambess.) Maxim., *Dasiphora* Raf., *Sorbaria* (Ser. Ex DC.) A. Braun, *Philadelphus* L., *Forsythia* Vahl, *Syringa* L., *Symphoricarpos* Dill. Ex Juss.). The ornamental quality was assessed based on morphological and phenological characteristics, as well as cold hardiness and damage resistance.

Results. A high ornamental rating (32-42 points) was assigned to 20 varieties, including those from the *Physocarpus* (Cambess.) Maxim. (41-42 points). A moderate rating (30 points) was given to *Spiraea cinerea* «Grefsheim», due to occasional reductions in flowering and leaf color intensity. Low ratings (18-20) were assigned to *Philadelphus microphyllus* A. Gray and *Philadelphus grandiflorus* Wild., due to inadequate reproductive development during the observation period. Most bushes exhibited a balanced crown shape, abundant flowers, vibrant autumn foliage, and resilience to abiotic stress, making them ideal for landscaping applications in northern Kazakhstani regions.

Conclusion. The results of the study show that the introduced ornamental shrubs have significant ornamental and adaptability potential in the conditions of northern Kazakhstan. The combined scores of most species allow them to be regarded as suitable candidates for inclusion in landscaping plantations.

Keywords: introduction; landscaping; ornamental shrubs; crown; flowering; Northern Kazakhstan.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-40-50. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2067

УДК 631.816.11

Исследовательская статья

Влияние гумата калия на ростовые процессы и биомассу микрозелени в условиях гидропонной системы

Коньсбаева Д.Т.¹, Горбуля В.С.¹, Мырзабаева М.Т.², Шоман А.Е.³, Сабитова З.Д.¹

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина
Астана, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

³Astana IT University, Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Сабитова З.Д.: zika.sabitova@gmail.com

Соавторы: (1: ДК) damilya_konysbaeva@mail.ru; (2: ВГ) vs_4@mail.ru

(3: ММ) malika77780@mail.ru; (4: АШ) a.shoman@astanait.edu.kz

Получено: 05.01.2026 **Принято:** 02.02.2026 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. Одним из направлений решения проблемы удовлетворения потребностей растущего городского населения в свежей растительной продукции, обеспечения сбалансированного питания по содержанию нутриентов и укрепления продовольственной безопасности может стать развитие вертикального фермерства в городских условиях для выращивания микрозелени. Цель работы - изучить влияние гумата калия на рост и развитие микрозелени в условиях гидропонной системы.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали микрозелень мангольда (*Beta vulgaris subsp. cicla* L.) и эстрагона (*Artemisia dracunculus* L.), выращиваемую на вертикальной гидропонной установке. На начальном этапе (в течение первых трех суток) растения содержались в условиях полной темноты с периодическим опрыскиванием, далее включали освещение и полив. Стимуляция роста осуществлялась путём подкормки раствором гумата калия в различных концентрациях (1-3%). Проведена оценка всхожести, биометрических параметров, сырой массы, накопления биологически активных веществ и визуального состояния растений микрозелени.

Результаты. Наиболее благоприятное влияние на рост, развитие и товарный вид микрозелени оказал полив раствором гумата калия в концентрации 3%.

Закключение. Использование гумата калия оказало положительное влияние на морфофизиологические характеристики микрозелени и может быть рекомендовано для использования в технологиях интенсивного выращивания в гидропонных системах.

Ключевые слова: микрозелень; листовая свёкла; мангольд; эстрагон; гидропонная система; гумат калия.

Введение

Развитие устойчивого сельского хозяйства является основополагающим для решения растущих проблем (глобальная продовольственная безопасность, деградация почв, загрязнение водных ресурсов, потеря биоразнообразия, экологическая устойчивость в условиях изменения климата и роста населения) и объединяет экологические принципы для поддержания производительности и сохранению природных ресурсов [1, 2].

Одним из направлений в решения проблемы продовольственной безопасности и удовлетворения потребностей растущего городского населения в свежих овощах,

сбалансированности питания по содержанию нутриентов может стать развитие в условиях города вертикального фермерства для выращивания микрозелени, овощных и пряных культур [3, 4].

Вертикальное фермерство, или вертикальное сельское хозяйство, в большинстве случаев представляет собой гидропонную культуру, практика которой требует организации роста растений в многоуровневых стеллажах с использованием искусственного освещения и климат-контроля. Прикладное вертикальное фермерство является одним из наиболее перспективных подходов и позволяет получать на гидропонных установках стабильный и управляемый рост растений в ограниченном пространстве [5, 6]. Эта новая концепция даёт ряд преимуществ: получение превосходной продукции (как по количеству, так и по качеству), исключение ущерба, вызванного факторами внешней среды, возможность производства свежих продуктов питания вблизи или даже внутри крупных городов [7].

Микрозелень – это новый «функциональный продукт», который обладает полезными свойствами по укреплению иммунитета и предотвращению болезней, является источником антиоксидантов, в том числе полифенолов, витаминов С, В, Е, К, а также каротиноидов, обладает антисептическими, противораковыми свойствами, защищает организм от сердечно-сосудистых и воспалительных заболеваний артрита, от вредного воздействия свободных радикалов и др. [8, 9].

Микрозелень – это молодые побеги овощных культур и пряных трав, которую собирают при высоте 2,5-7,6 см после завершения развития семядолей или при появлении первых настоящих листьев. Семядольные листья микрозелени обладают более высокой питательной ценностью, чем зрелые листья. Они являются хорошим источником макроэлементов (калия и кальция) и микроэлементов (железа и цинка), характеризуется высоким содержанием каротиноидов, хлорофиллов, органических кислот [10]. Сбор урожая микрозелени производится через 7-14 дней после прорастания. В последние годы благодаря разнообразию нежного вкуса, сенсорных характеристик, высокопитательным и антиоксидантным свойствам рынок микрозелени стремительно растёт: растущий кулинарный спрос и простота выращивания микрозелени вызывают большой интерес как у производителей, так и у потребителей [11].

Короткий период роста микрозелени позволяет получать урожай круглый год в защищённом грунте и на вертикальных фермах в городских условиях без почвы, минеральных удобрений и пестицидов. Для повышения эффективности гидропонного выращивания активно применяются различные биостимуляторы. Особый интерес представляют гуминные соединения (далее - ГС), получаемые из гуминовых кислот [12]. ГС, полученные из разложившегося органического вещества, были определены как ключевые факторы устойчивого управления [13]. Они улучшают ёмкость катионного обмена, удержание воды и микробное разнообразие, которые необходимы для поддержания продуктивности почвы в устойчивых сельскохозяйственных системах [14]. Недавние исследования показали, что ГС также могут повышать устойчивость растений к засухе и стрессу, связанному с питательными веществами, что делает их особенно ценными в контексте изменения климата [15]. Значительное влияние ГС на индукцию боковых корней и рост корневых волосков может быть вызвано изменениями в энергетических и азотных путях и транспорте через мембраны. ГС влияют на питание и развитие растений через тесно связанные механизмы, которые зависят от гормонов. Они обладают способностью активизировать физиолого-биохимические процессы в растениях, улучшать усвоение питательных веществ и повышать устойчивость к стрессовым факторам [16, 17]. Однако, влияние гуматов на рост и развитие микрозелени при гидропонном выращивании до конца не изучено, что определяет актуальность данного исследования.

Настоящее исследование направлено на выявление особенностей влияния калийного гумата на морфофизиологические показатели роста и развития микрозелени мангольда (*Beta vulgaris subsp. cicla* L.) и эстрагона (*Artemisia dracunculus* L.) при гидропонном способе культивирования.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовалась микрозелень листовой свеклы (мангольд) (*Beta vulgaris subsp. vulgaris var. cicla* L.) и эстрагона (*Artemisia dracunculus* L.), обладающая

высокой скоростью роста и популярная в пищевом использовании. Мангольд (*Beta vulgaris subsp. vulgaris var. cicla*) относится к семейству *Amaranthaceae* и отличается быстрым ростом и высоким содержанием биологически активных веществ, включая витамины и пигменты (бетаин, каротиноиды). Эстрагон (*Artemisia dracunculus* L.) – пряно-ароматическое растение семейства *Asteraceae* ценится за высокое содержание эфирных масел, фенольных соединений и антиоксидантов [18]. Выбор данных культур обусловлен содержанием значительного количества биологически активных соединений и определяет их перспективность для функционального питания и производства напитков, обогащённых натуральными антиоксидантами.

Цикл выращивания микрозелени проходил в контролируемых условиях гроубокса, позволяющем моделировать микроклимат и поддерживать оптимальный световой режим для выращивания растений в условиях закрытого грунта, на горизонтальной и вертикальной гидропонных установках с использованием биостимулятора – гумата калия (рисунок 1).



Рисунок 1 – А-горизонтальная гидропонная установка,
Б-вертикальная гидропонная установка

Семена мангольда (*Beta vulgaris subsp. cicla* L.) и эстрагона (*Artemisia dracunculus* L.) были поверхностно дезинфицированы в <5% гипохлориде натрия в течение 10 мин, трижды промыты в стерильной дистиллированной воде (20 мин), что предотвратило рост патогенных микроорганизмов в период прорастания семян. Следующим этапом стало замачивание семян в течение 1 часа в растворе гумата калия, в соответствующих вариантах исследований концентраций (1-3%) и равномерное распределение по поверхности влажной подложки. В течение первых 3-х суток после посева освещение и полив не осуществляются, однако, при необходимости производится лёгкое опрыскивание поверхности субстрата водой для поддержания необходимой влажности. Начиная с четвёртых суток подключается режим досвечивания светодиодными фитолампами (интенсивность 12-14 тыс. люкс в спектре 400-700 нм) для обеспечения 12-часового светового дня и программа регулярного полива, обеспечивающая баланс по аэрации и влагообеспеченности культур с относительной влажностью воздуха 40-55%. Температура воздуха поддерживается на уровне 22-28 °С. В графике полива учитывалось дифференцированное внесение гумата калия в соответствии со схемой опыта. Система функционировала в режиме непрерывной рециркуляции, обеспечивая постоянную подачу питательного раствора к корневой зоне растений.

Благодаря контролю микроклиматических условий удалось получить равномерные всходы и наблюдать стабильное развитие микрозелени на протяжении всего цикла выращивания. Учётная площадь 34 м², повторность трехкратная.

Для оценки параметров роста проводились измерения следующих показателей:

- на 3-й день всхожесть семян (%);

- на 10-й день после посева измерение средней длины проростков (см), сырой массы (г), визуальная оценка окраски и общего состояния растений.

В качестве биостимулятора использован гумат калия (производитель ТОО «НПО Казтехноуголь», Республика Казахстан), разработанный по инновационной технологии из отечественного окисленного бурого угля в виде высококонцентрированного жидкого раствора и внедренный в производство в виде органо-минерального удобрения «Казуглегумус». Были протестированы следующие варианты: (1) «Контроль», (2) «Гумат калия, 1%», (3) «Гумат калия, 2%», (4) «Гумат калия, 3%». Раствор гумата вводили вручную в поливную систему при дифференцированном поливе с момента появления первых всходов.

Результаты и обсуждение

Результаты опытов показали, что проведенная дезинфекция не оказала отрицательного воздействия на всхожесть семян и дальнейшее развитие проростков. У обоих видов микрорезлени данный показатель варьировал от 90 до 100%.

Микрорезленъ выращивали в течение 10-15 дней. Листовая свекла мангольд и эстрагон вырастали примерно в одни сроки: период роста эстрагона удлинялся на 1,5-2 дня (рисунок 2).

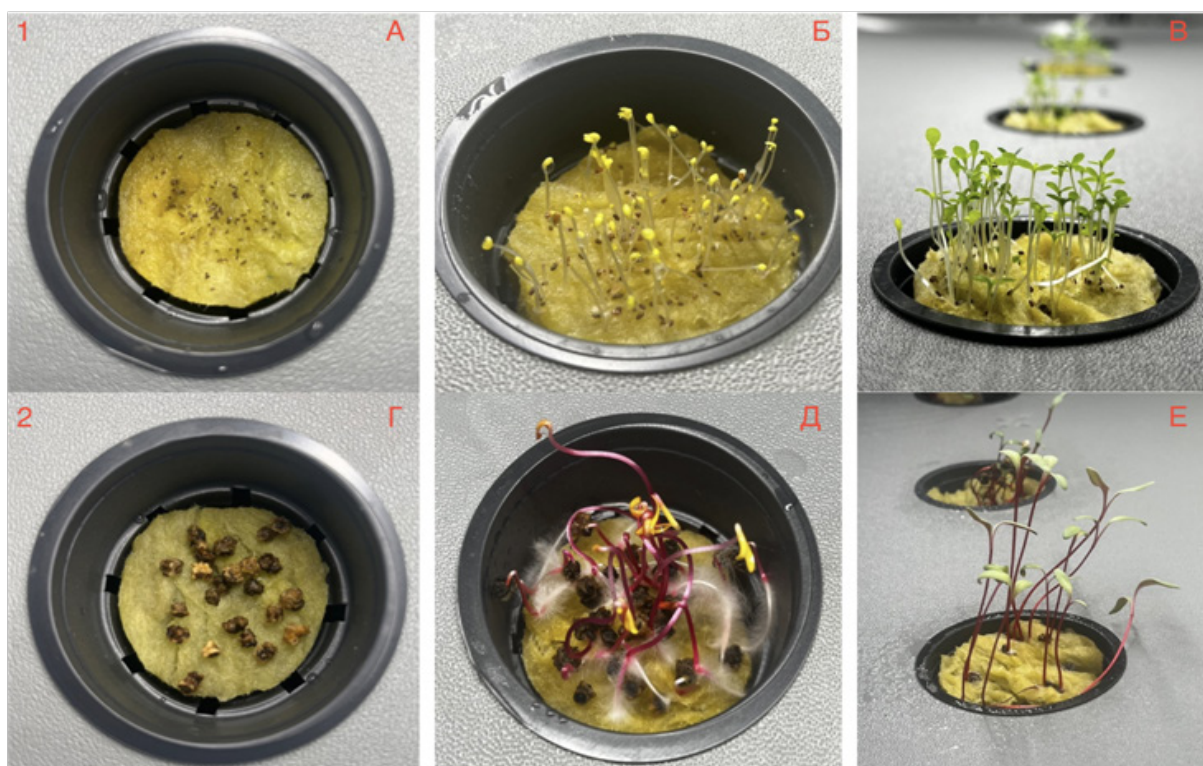


Рисунок 2 – Этапы прорастания микрорезлени эстрагона и мангольда в условиях гроубокса
1 ряд – эстрагон: 1А – день посева; 1Б – 5-й день после посева; 1В – 10-й день после посева;
2 ряд - мангольд: 2Г – день посева; 2Д – 5-й день после посева; 2Е – 10-й день после посева

Измерения морфометрических показателей прироста по высоте микрорезлени, проведённые на 10-й день с момента посева, показали более интенсивный рост микрорезлени листовой свёклы (мангольда) (рисунок 3).

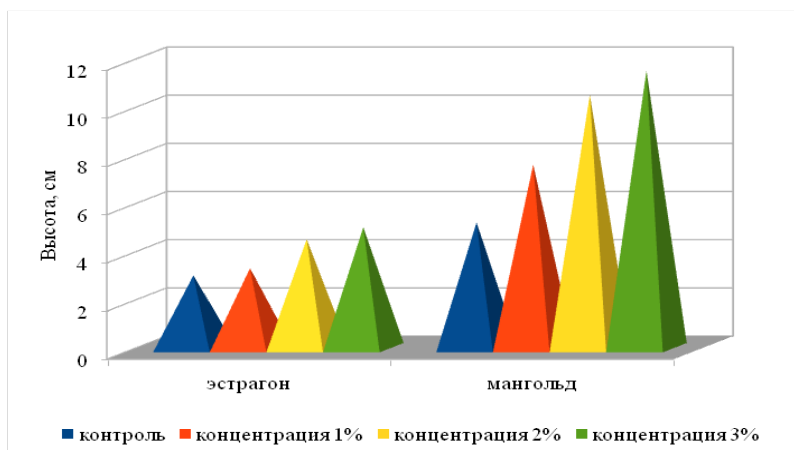

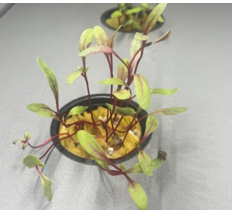




Рисунок 3 – Варьирование высоты микрозелени листовой свеклы (мангольда) и эстрагона в зависимости от концентрации гумата калия

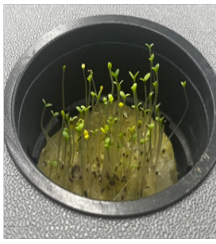



Лучшие результаты по каждой культуре были получены при использовании питательного раствора с концентрацией гумата калия 2 и 3%, и соответственно высота микрозелени эстрагона составила 4,5 и 5,0 см, высота микрозелени листовой свеклы (мангольда) – 10,5 и 11,5 см.

Варианты с применением биостимулятора гумата отличались более насыщенной зелёной окраской листьев, что указывает на повышенное содержание хлорофилла. Растения были более выровненными и крепкими, с хорошо развитой листовой пластинкой (таблица 1).

Таблица 1 – Изменения морфологических признаков микрозелени в зависимости от изменения концентрации биостимулятора

Культура	Вариант обработки	% гумата	Визуальная характеристика	Наглядное представление
Мангольд	Контроль	0	Светло-зелёный, листья мягкие	
	Вариант 1	1	Более насыщенная окраска, листья плотные	
	Вариант 2	2	Светло-зелёные листья	
	Вариант 3	3	Ярко зелёные, мощные и сочные растения	

Продолжение таблицы 1

Эстрагон	Контроль	0	Тонкие побеги, светлые листья	
	Вариант 1	1	Более равномерная окраска	
	Вариант 2	2	Насыщенный цвет, аккуратная форма	
	Вариант 3	3	Насыщенный цвет, аккуратная форма	

Применение гумата калия в питательном растворе оказало положительное влияние на прирост биомассы и морфологические показатели исследуемых видов микрорезелени. С увеличением концентрации питательного раствора формировались более развитые ростки микрорезелени, как листовой свеклы (мангольда), так и эстрагона. Листовая пластинка становилась более широкой, упругой и демонстрировала более интенсивную зелёную окраску, что указывает на повышение эффективности фотосинтеза и обеспечивает более активный рост растений. У листовой свеклы (мангольда) под действием гуматов отмечалось формирование интенсивно окрашенных стеблей характерного красно-бордового оттенка. Яркость и насыщенность окраски стеблей указывают на улучшение физиологического состояния растений и отсутствие стрессовых факторов в условиях выращивания.

Сбор урожая микрорезелени проводился при полном развитии первого и второго листа, в то время как семядольные листья были в стадии закругленных краев. Свежесобранный урожай всей биомассы и отдельного растения по каждому варианту взвешивали на цифровых весах (рисунки 4, 5). С увеличением концентрации гуматов в питательном растворе увеличивался вес микрорезелени, особенно это отмечается в вариантах микрорезелени эстрагона. Максимальный вес одного растения достигал при использовании на микрорезелени гумата калия в концентрации 3%, и составил 14 г у мангольда и 11 г у эстрагона. Данный показатель был сравнительно больше, чем в вариантах контроль и концентрация гумата калия 1%, соответственно, по микрорезелени мангольда – на 26% и 24%, по микрорезелени эстрагона – на 71% и 50%.

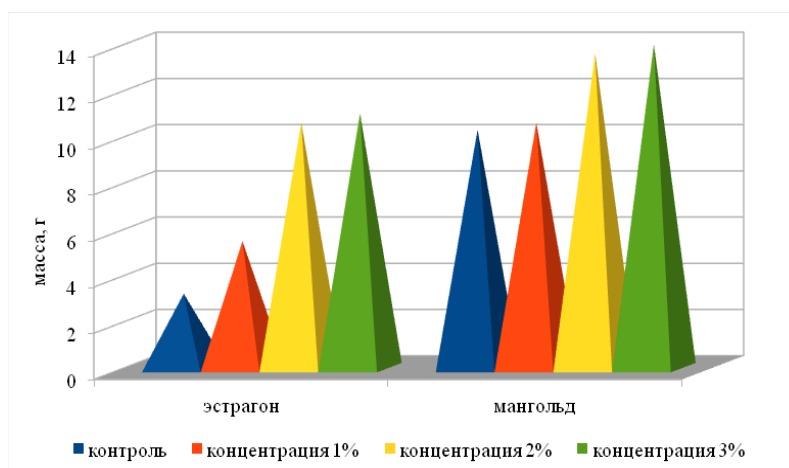


Рисунок 5 – Варьирование веса одного растения микрозелени мангольда и эстрагона в зависимости от концентрации гумата калия

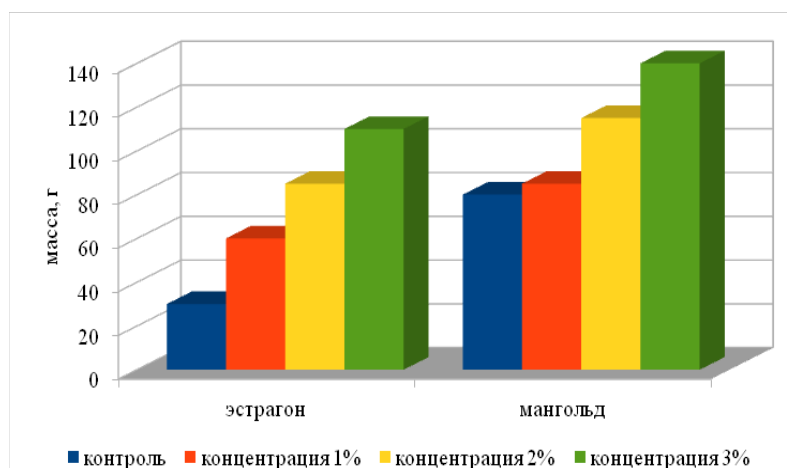


Рисунок 6 – Изменение биомассы микрозелени мангольда и эстрагона в зависимости от концентрации гумата калия

Исследования показывают стабильные показатели роста биомассы мангольда на следующих вариантах: при 3% концентрации гумата максимальные массы составили от 125 до 140 г с исследуемой площади, рост растений варьирует от 8 до 10 см; небольшое отличие отмечается в биомассе при концентрации гумата 2% – масса составляет от 115 до 136 г с исследуемой площади и наблюдается небольшое отставание в росте, высота растений находится в пределах 6-10 см; масса растений с исследуемой площади при концентрации гумата 1% имеет небольшое отличие от контрольного варианта в пределах от 80 до 110 г. Тогда как, масса растений в вариантах с концентрацией гумата 3% в 1,75 раз; 2% и 2,5% в 1,4-1,5 раз соответственно больше массы растений контрольного варианта.

Эстрагон же показывает отличие прироста в биомассе в вариантах: с концентрацией гумата в 3% в пределах 110 г с исследуемой площади, отличие по биомассе от контроля составило 3,4-3,5 раз; стабильную массу в пределах 85 г показывает вариант с концентрацией гумата 2%, при этом рост микрозелени активный с хорошими показателями листовой поверхности. При концентрации 1% гумата микрозелень имеет небольшой прирост в биомассе в отличие от контроля и находится в пределах 60 г.

Заключение

Микрозелень мангольда и эстрагона подходит для интенсивного вертикального земледелия, благодаря небольшой высоте, которую она достигает при сборе урожая, и короткому жизненному циклу.

По итогам исследования отмечено, что использование гумата калия приводит к положительным эффектам: наблюдается стимуляция ростовых процессов, улучшаются морфометрические показатели и увеличивается биомасса микрозелени, что показывает эффективность гумата калия как биостимуляторов при гидропонном методе выращивания микрозелени. Наиболее эффективной в условиях гидропонной системы является 3% концентрация раствора гумата калия для стимуляции роста микрозелени, улучшения усвоения питательных веществ и активизации физиолого-биохимических процессов в растениях на ранних стадиях развития, и может быть рекомендовано как эффективный элемент агротехнологии. Полученные результаты могут быть полезны для дальнейших разработок в области интенсивного растениеводства и биологизации технологий в условиях контролируемых сред.

Вклад авторов

ДК, ВГ, ММ, АШ, ЗС: участвовали в сборе и подготовке образцов для проведения лабораторных анализов, а также провели обработку и анализ полученных данных. ДК, ВГ, ММ, АШ, ЗС: подготовили литературный обзор, обобщили результаты исследований, выполнили анализ данных и совместно подготовили текст статьи.

Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательный вариант статьи.

Информация о финансировании

Исследование было выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2024-2026 годы программы ПЦФ BR24992852 «Разработка интеллектуальных моделей и методов цифровой экосистемы Smart City для устойчивого развития города и повышения качества уровня жизни горожан».

Список литературы

- 1 Rockström, J., Edenhofer, O., Gaertner, J., De Clerck, F. (2020). Planet Proofing the Global Food System. *Nat. Food*, 1, 3-5.
- 2 Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. (2021). Global Achievements in Soil Conservation and the Role of Conservation Agriculture. *Int. Soil Water Conserv. Res*, 9, 217-230. DOI: 10.1016/S2095-6339(15)30009-5.
- 3 Rohmana, N.A., Majid, ZANM., Robbani, S. (2023). The potential of microgreen as the dietary antioxidant in COVID-19 pandemic: mini review. *Food Research*, 7(5), 147-155. DOI:10.26656/fr.2017.7(5).994.
- 4 Mrityunjaya, M., Pavithra, V., Neelam, R., Janhavi, P., Halami, P.M., Ravindra, P.V. (2020). Im-mune-Boosting, Antioxidant and Antiinflammatory Food Supplements Targeting Pathogenesis of COVID-19. *Frontiers in Immunology*, 11, 570122. DOI:10.3389/fimmu.2020.570122.
- 5 Pretty, J., Benton, T.G., Bharucha, Z.P., Dicks, L.V., Flora, C.B., Godfray, H.C.J., Goulson, D., Hart-ley, S., Lampkin, N., Morris, C., et al. (2020). Global Assessment of Agricultural System Redesign for Sustainable Intensification. *Nat. Sustain*, 3, 830-840. DOI:10.1038/s41893-018-0114-0.
- 6 Jin, X., Zhang, Y., Zhou, J. (2022). Advances in Precision Agriculture for Sustainable Farming: A Review. *Agronomy*, 12, 412.
- 7 Huang, H., Jiang, X.Z., Yu, L., Pham, Q., Sun, J. (2016). Red Cabbage micro green lower circulating LDL, Liver Cholesterol and inflammatory cytokines in mice fed a high - fat diet. *J Agric Food Chem*, 64, 9161-71. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b03805.
- 8 Kyriacou, M.C., Roupheal, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S., Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends Food Sci Technol*, 57, 103-15. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.09.005.
- 9 Rosa, J., Silva, R.F., Canellas, L.P. (2022). Humic Acids and Sustainable Nutrient Management in Agriculture. *J. Plant Nutr*, 45, 1175-1190. DOI:10.3390/agronomy15020410.
- 10 Turner, E.R., Luo, Y., Buchanan, R.L. (2020). Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: a review. *Journal of Food Science*, 85, 870-882. DOI:10.1111/1750-3841.15049.

11 Rocchetti, G., Tomas, M., Zhang, L., Zengin, G., Lucini, L., Capanoglu, E. (2020). Red beet (*Beta vulgaris*) and amaranth (*Amaranthus* sp.) microgreens: Effect of storage and in vitro gastrointestinal digestion on the untargeted metabolomic profile. *Food chemistry*, 332, 127415. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127415.

12 Abid, M., Batool, T., Siddique, G., Ali, S., Binyamin, R., Shahid, M.J., Rizwan, M., Alsahli, A.A., Alyemeni, M.N. (2020). Integrated nutrient management enhances soil quality and crop productivity in Maize-Based cropping system. *Sustainability*, 12, 10214.

13 Guo, X.-X., Liu, H.-T., Wu, S.-B. (2019). Humic Substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Sci. Total Environ*, 662, 501-510.

14 Kłeczek, A. (2022). Agricultural Use of Natural Bio stimulants Humic Substances: A Review. *Deleted J.*, 24, 1-14.

15 Nardi, S., Ertani, A., Francioso, O. (2016). Soil root cross-talking: The role of Humic Substances. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 180, 5-13.

16 Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T.C., Kremen, C., Van Der Heijden, M.G.A., Liebman, M., Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Sci. Adv*, 6, 1715.

17 Fatima, N., Jamal, A., Huang, Z., Liaquat, R., Ahmad, B., Haider, R., Sillanpää, M. (2021). Extraction and chemical characterization of humic acid from nitric acid treated lignite and bituminous coal samples. *Sustainability*, 13(16), 8969. DOI:10.3390/su13168969.

18 Ekiert, H., Świątkowska, J., Knut, E., Klin, P., Rzepiela, A., Tomczyk, M., Szopa, A. (2021). *Artemisia dracunculoides* (Tarragon): A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 653993. DOI:10.3389/fphar.2021.653993.

References

1 Rockström, J., Edenhofer, O., Gaertner, J., De Clerck, F. (2020). Planet-Proofing the Global Food System. *Nat. Food*, 1, 3-5.

2 Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. (2021). Global Achievements in Soil Conservation and the Role of Conservation Agriculture. *Int. Soil Water Conserv. Res*, 9, 217-230. DOI:10.1016/S2095-6339(15)30009-5.

3 Rohmanna, N.A., Majid, ZANM., Robbani, S. (2023). The potential of microgreen as the dietary antioxidant in COVID-19 pandemic: mini review. *Food Research*, 7(5), 147-155. DOI: 10.26656/fr.2017.7(5).994.

4 Mrityunjaya, M., Pavithra, V., Neelam, R., Janhavi, P., Halami, P.M., Ravindra, P.V. (2020). Immune-Boosting, Antioxidant and Anti-inflammatory Food Supplements Targeting Pathogenesis of COVID-19. *Frontiers in Immunology*, 11, 570122. DOI:10.3389/fimmu.2020.570122.

5 Pretty, J., Benton, T.G., Bharucha, Z.P., Dicks, L.V., Flora, C.B., Godfray, H.C.J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., Morris, C., et al. (2020). Global Assessment of Agricultural System Redesign for Sustainable Intensification. *Nat. Sustain*, 3, 830-840. DOI:10.1038/s41893-018-0114-0.

6 Jin, X., Zhang, Y., Zhou, J. (2022). Advances in Precision Agriculture for Sustainable Farming: A Review. *Agronomy*, 12, 412.

7 Huang, H., Jiang, X.Z., Yu, L., Pham, Q., Sun, J. (2016). Red Cabbage micro-green lower circulating LDL, Liver Cholesterol and inflammatory cytokines in mice fed a high - fat diet. *J Agric Food Chem*, 64, 9161-71. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b03805.

8 Kyriacou, M.C., Roupheal, Y., Di Gioia, F., Kyrtziz, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S., Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends Food Sci Technol*, 57, 103-15. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.09.005.

9 Rosa, J., Silva, R.F., Canellas, L.P. (2022). Humic Acids and Sustainable Nutrient Management in Agriculture. *J. Plant Nutr*, 45, 1175-1190. DOI:10.3390/agronomy15020410.

10 Turner, E.R., Luo, Y., Buchanan, R.L. (2020). Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: a review. *Journal of Food Science*, 85, 870-882. DOI:10.1111/1750-3841.15049.

11 Rocchetti, G., Tomas, M., Zhang, L., Zengin, G., Lucini, L., Capanoglu, E. (2020). Red beet (*Beta vulgaris*) and amaranth (*Amaranthus* sp.) microgreens: Effect of storage and in vitro gastrointestinal digestion on the untargeted metabolomic profile. *Food chemistry*, 332, 127415. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127415.

12 Abid, M., Batool, T., Siddique, G., Ali, S., Binyamin, R., Shahid, M.J., Rizwan, M., Alsahli, A.A., Alyemeni, M.N. (2020). Integrated nutrient management enhances soil quality and crop productivity in Maize-Based cropping system. *Sustainability*, 12, 10214.

13 Guo, X.-X., Liu, H.-T., Wu, S.-B. (2019). Humic Substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Sci. Total Environ*, 662, 501-510.

14 Kłeczek, A. (2022). Agricultural Use of Natural Bio stimulants Humic Substances: A Review. *Deleted J.*, 24, 1-14.

15 Nardi, S., Ertani, A., Francioso, O. (2016). Soil root cross-talking: The role of Humic Substances. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 180, 5-13.

16 Tamburini, G., Bommarco, R., Wanger, T.C., Kremen, C., Van Der Heijden, MGA., Liebman, M., Hallin, S. (2020). Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Sci. Adv*, 6, 1715.

17 Fatima, N., Jamal, A., Huang, Z., Liaquat, R., Ahmad, B., Haider, R., Sillanpää, M. (2021). Extraction and chemical characterization of humic acid from nitric acid treated lignite and bituminous coal samples. *Sustainability*, 13(16), 8969. DOI:10.3390/su13168969.

18 Ekiert, H., Świątkowska, J., Knut, E., Klin, P., Rzepiela, A., Tomczyk, M., Szopa, A. (2021). *Artemisia dracunculus* (Tarragon): A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 653993. DOI:10.3389/fphar.2021.653993.

Гидропоника жағдайында микрожасылдардың өсу процестері мен биомассасына калий гуматының әсері

Конысбаева Д.Т., Горбуля В.С., Мырзабаева М.Т., Шоман А.Е., Сабитова З.Д.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Қалалық халықтың жаңа көкөністерге деген өсіп келе жатқан сұранысын қанағаттандыру, тағам құрамындағы нутриенттер теңгерімін қамтамасыз ету және азық-түлік қауіпсіздігін қалыптастыру мәселесін шешудің бір бағыты – қала жағдайында микрожасылдарды өсіруге арналған тік фермерлік жүйелерді дамыту болып табылады. Зерттеу мақсаты калий гуматының гидропондық жүйеде микрожасылдардың өсуі мен дамуына әсерін зерттеу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысандары ретінде тік гидропондық қондырғыда өсірілген мангольд (*Beta vulgaris subsp. cicla* L.) және эстрагон (*Artemisia dracunculus* L.) микрожасылдары пайдаланылды. Бастапқы кезеңде (алғашқы үш тәулік бойы) өсімдіктер толық қараңғылықта ұсталып, мерзімді түрде бүркілді; кейін жарықтандыру мен суару іске қосылды. Өсуді ынталандыру әртүрлі концентрациядағы (1-3%) калий гуматы ерітіндісімен қоректендіру арқылы жүргізілді. Өскіндердің өнгіштігі, биометриялық көрсеткіштері, шикі массасы, биологиялық белсенді заттардың жиналуы және микрожасылдардың визуалды күйі бағаланды.

Нәтижелер. Микрожасылдардың өсуі, дамуы және тауарлық түріне ең қолайлы әсер калий гуматының 3% ерітіндісімен суарғанда байқалды.

Қорытынды. Калий гуматын қолдану микрожасылдардың морфо-физиологиялық көрсеткіштеріне оң әсер етті және оны гидропондық жүйелерде қарқынды өсіру технологияларында қолдануға болады деп ұсынуға болады.

Кілт сөздер: микрожасыл; жапырақты қызылша; мангольд; эстрагон; гидропондық жүйе; калий гуматы.

Effect of potassium humate on growth processes and biomass accumulation of microgreens under hydroponic conditions

Damilya T. Konysbayeva, Victoria S. Gorbula, Malika T. Myrzabaeva, Aruzhan E. Shoman
Zeinegul D. Sabitova

Abstract

Background and Aim. One of the promising approaches to addressing the growing demand of the urban population for fresh vegetables, ensuring a balanced diet in terms of nutrient content and achieving food security is the development of vertical farming systems for growing microgreens in urban environments. The aim of this study was to investigate the effect of potassium humate on the growth and development of microgreens under hydroponic conditions.

Materials and Methods. The objects of the study were microgreens of Swiss chard (*Beta vulgaris subsp. cicla* L.) and tarragon (*Artemisia dracunculus* L.), grown in a vertical hydroponic system. At the initial stage (during the first three days), the plants were kept in complete darkness with periodic spraying; afterward, lighting and irrigation were activated. Growth stimulation was carried out by feeding the plants with potassium humate solution at various concentrations (1-3%). Germination rate, biometric parameters, fresh weight, the accumulation of biologically active substances, and the visual condition of the microgreens were evaluated.

Results. The most favorable effect on the growth, development, and marketable appearance of microgreens was observed with irrigation using potassium humate at a concentration of 3%.

Conclusion. The use of potassium humate had a positive effect on the morphophysiological characteristics of microgreens and can be recommended for use in intensive hydroponic cultivation technologies.

Keywords: microgreens; Swiss chard; *Beta vulgaris*; tarragon; hydroponic system; potassium humate.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. - № 1 (129). - Р.-51-67. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2108

UDC 631.41: 631.46(574.54)

Research article

Study of agrochemical properties and microbial diversity of soils of Southern Kazakhstan

Gulzhamal Zh. Abdieva , Perizat S. Ualieva , Azhar M. Malik , Kenzhegul S. Shauliyeva 
Milana E. Yermekova , Inkar Y. Dauletkan 

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Corresponding author: Kenzhegul S. Shauliyeva: shauliyeva_2002@mail.ru

Co-authors: (1: GA) abdievagzh@gmail.com; (2: PU) ualievaps@gmail.com

(3: AM) azhar.malickyzy@gmail.com; (4: MY) ermekovamilaw@gmail.com

(5: ID) dauletkhan.i.192005@gmail.com

Received: 05.01.2026 **Accepted:** 02.02.2026 **Published:** 30.03.2026

Abstract

Background and Aim. Soil is an important component of the ecosystem, providing plants with the nutrients and water resources necessary for their growth and development. The agrochemical properties, pH, and electrical conductivity of soil determine the viability and biological activity of microorganisms. The aim of this study is to investigate the agrochemical indicators (pH, electrical conductivity and nutrient content) of soil samples collected in the Sauran, Zhanakorgan, and Turkestan districts, as well as to evaluate the composition of soil microflora and the morphological, cultural and physiological-biochemical properties of microorganism strains.

Materials and Methods. During the study, the agrochemical indicators of soil samples collected in each district were determined using standard methods. The morphological, cultural, and physiological-biochemical properties of pure cultures of microorganisms isolated from the soil were examined. The ability of the strains to utilize carbohydrates, the activity of amylase and gelatinase enzymes, and their thermo- and salt tolerance were evaluated. In addition, the mutual biocompatibility of the isolated strains was assessed.

Results. The isolated microorganisms were identified at the family level and were found to belong to the genera *Bacillus* spp., *Micrococcus* spp., and *Pseudomonas* spp. Strains *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Jn1*, *Jn2*, *TBS583* and *TBS588* showed enzymatic activity, the ability to effectively utilise carbohydrates, and resistance to temperature and salt stress. The biocompatibility results demonstrated their ability to grow together without antagonism.

Conclusion. The studied strains are promising microorganisms for increasing soil biological fertility and producing environmentally friendly biofertilizers. Their use in agriculture may contribute to increased plant productivity and the maintenance of soil ecological balance.

Keywords: agrochemical property; biofertilizer; microorganism; soil fertility; soil microflora.

Introduction

According to a 2024 FAO report, the agrochemical properties of approximately 1.4 billion hectares of land have deteriorated, and another 1 billion hectares are at risk due to climate change and inefficient agricultural practices. Other international data and studies (e.g., the Global Saline Soil Map and regional assessments) show that more than 3% of the world's soils have lost their chemical and physical balance in the surface layer, and more than 6% in the deeper layer. Such changes are observed mainly in arid and semi-arid regions [1].

Soil is an important natural resource that ensures the sustainability of natural ecosystems. Its degradation is caused by the interaction of complex biogeochemical, environmental and anthropogenic

factors occurring on spatial and temporal scales. The main processes of soil degradation are rapid erosion, reduction of soil organic carbon (SOC), decline in biodiversity, deterioration of soil fertility, element imbalance, acidification, and salinisation. These processes can be reversed by transitioning to restorative land-use practices and applying appropriate management approaches. The main strategy is to reduce soil erosion, create a positive balance of SOC and nitrogen, increase micro-, meso- and macro-biodiversity in the soil, and improve structural stability and pore geometry. Improving soil quality by increasing SOC, enhancing soil structure, and improving fertility reduces the risks of soil degradation (physical, chemical, biological, and environmental) and improves environmental conditions [2].

The Turkestan and Kyzylorda regions are among the most important agricultural areas of Kazakhstan, where farming and horticulture are widely developed. However, the climatic characteristics and diversity of soil structure in these regions lead to environmental problems such as salinisation, waterlogging, and wind erosion. Therefore, a comprehensive study of the agrochemical and biological properties of soils is of great importance for increasing their fertility and productivity, as well as for the efficient use of land resources. Determining the chemical composition of the soil, including pH, electrical conductivity, and nutrient levels, as well as studying the soil microflora and the morphophysiological characteristics of microorganisms, makes it possible to ensure the stability of agricultural production in these regions, maintain ecological balance, and effectively plan the agricultural development strategy. For these reasons, the study of soils in the Turkestan and Kyzylorda regions is scientifically and practically relevant and necessary. Comparing the properties of soil microflora under different natural and climatic conditions has made it possible to determine the interaction of local strains and select the most suitable ones, which will allow the development of biological fertilizers in the future [3].

Materials and Methods

The study was conducted at the Kazakh-German-Chinese International Research Laboratory of Applied Microbiology at Al-Farabi Kazakh National University. Soil samples were collected in the Turkestan and Kyzylorda regions for the study:

1. Soil sample: Sauran village. Location: Sauran district, Turkestan region. Depth: 0-30 cm. External morphological characteristics: light brown soil colour, fine-grained structure, dry surface layer, medium density, no pronounced odour, and a small amount of decaying plant remains.

2. Soil sample: Zhanakorgan district. Location: Zhanakorgan District, Kyzylorda Region. Depth: 0-30 cm. External morphological characteristics: brownish soil colour, granular structure, natural odour, and a small amount of decaying plant debris. When dry, the soil is dense; when wet, it becomes soft and homogeneous.

3. Soil sample: Turkestan. Location: Main Botanical Garden of Turkestan Region. Depth: 0-30 cm. External morphological characteristics: light brown soil colour, fine-grained structure, dry surface layer, medium density, no pronounced odour, and a small amount of decayed plant debris.

Determination of electrical conductivity. Soil samples weighing 30 g, with an accuracy of no more than 0.1 g, were mixed in a container, and placed in ten-position cassettes or conical flasks. Distilled water was added to the samples using a dispenser or measuring cylinder at a volume of 150 cm³. The soil-water mixture was stirred for 3 minutes using a shaker, rotator, or propeller mixer and then left to settle for 5 minutes. When using proportional dosing scales for the extractant, it is permissible to use a sample weighing 25-30 g. It is also permissible to proportionally adjust the mass of the soil sample and the volume of distilled water while maintaining a ratio of 1:5, with a dosing error not exceeding 2%. After 5 minutes of settling, the conductometer sensor was immersed in the suspension to determine electrical conductivity. After each measurement, the sensor was thoroughly rinsed with distilled water.

pH measurement. A portion of the soil suspension with a volume of 15-20 cm³ was transferred into a 50 cm³ beaker and used for pH measurement. The pH meter was calibrated using three buffer solutions with pH values of 4.01, 6.86, and 9.18, prepared from standard titers. The readings were recorded no earlier than 1.5 minutes after immersing the electrodes in the solution, once the instrument readings had stabilised. During operation, the device settings were periodically checked using a buffer solution with a pH of 6.86.

Determination of mobile forms of phosphorus and potassium in soils using the Kirsanov method.

The content of mobile forms of phosphorus and potassium was determined in accordance with GOST 26207-91. The method is based on the extraction of mobile phosphorus and potassium compounds from

the soil using a 0.2 M HCl solution at a soil-to-solution ratio of 1:5 for mineral soils and 1:50 for peat soils. The extraction was carried out at a temperature of $(18 \pm 3)^\circ\text{C}$, followed by filtration of the extract.

Phosphorus was determined by a photolorimetric method in the form of molybdenum blue at a wavelength of 710 nm, and potassium was determined by flame photometry using analytical lines at 766 and 700 nm. The quantitative content of phosphorus and potassium was calculated using calibration curves based on standard reference solutions and expressed in milligrams of P_2O_5 and K_2O per 1 kg of soil.

Modified determination of humus in soils according to the Tyurin method. The humus content was determined according to GOST 26213-91 using a modified Turin method with photolorimetric detection. The method is based on the oxidation of organic matter in the soil with a potassium dichromate solution in a sulfuric acid medium when heated in a boiling water bath, followed by photolorimetric determination of trivalent chromium, which is equivalent to the humus content. For the analysis, a soil sample (0.05-0.4 g, depending on the estimated humus content) was placed in test tubes, a chromium mixture was added, and the tubes were kept in a boiling water bath for 1 hour. After cooling, the solution was diluted with distilled water, thoroughly mixed, and allowed to settle until completely clear. The optical density of the analyzed and standard solutions was measured on a photoelectric colorimeter at a wavelength of about 590 nm. The quantitative content of humus was determined using a calibration scale constructed with Mora's salt solutions and calculated taking into account the conversion factors from carbon to humus. The results were expressed as a percentage (%). The permissible error in repeated determinations complied with GOST requirements.

Total nitrogen was determined according to GOST 26107-84 (Kjeldahl method). The method is based on the decomposition of organic matter in soil with concentrated sulfuric acid in the presence of catalysts (K_2SO_4 , CuSO_4 , Se) with the conversion of nitrogen into ammonium form. For the analysis, a soil sample (2.0-4.0 g, depending on humus content) was mineralised with sulfuric acid until the solution became completely colourless. After cooling, the ammonium nitrogen was distilled off in an alkaline medium, captured in a boric acid solution, and determined titrimetrically with a sulfuric acid solution using a mixed indicator. A control analysis was performed simultaneously. In addition, nitrogen was determined by the photometric "indophenol green" method. After mineralization of the soil sample, the optical density of the colored solutions was measured at a wavelength of 655 nm, and the nitrogen content was calculated using a calibration scale of standard solutions.

Laboratory incubation method. CO_2 determination method. The determination of CO_2 content in soil characterizes the soil's biological activity, the respiration-driven decomposition of organic matter, and microbiological processes. A known amount (e.g., 100 g) of moist soil was placed in an airtight container. An open vessel containing an NaOH solution (typically 0.1 N) was placed inside to absorb the CO_2 . The jar was sealed and incubated for 5-7 days ($25\text{-}30^\circ\text{C}$). CO_2 reacts with NaOH to form Na_2CO_3 . At the end of the incubation period, the excess NaOH was titrated with an HCl solution, and the amount of CO_2 absorbed was calculated [4].

During the study, the general microflora of the soil samples was examined using Koch's serial dilution method, and pure cultures of microorganisms were isolated. MPA, Sabouraud agar, Czapek agar, Simmons agar, tryptone soy agar, and Pseudomonas agar were used as differential diagnostic media. These media created favorable conditions for the growth of various groups of microorganisms and allowed their isolation. The streak method and the Drigalsky method were used to obtain pure cultures. As a result, the morphological and cultural characteristics of microorganisms grown on nutrient media, their physiological and biochemical properties, and the qualitative and quantitative composition of the microflora in the samples were comprehensively studied [5].

Carbohydrate digestion method. This method determines the ability of microorganisms to utilise carbohydrate compounds as a source of energy. During the analysis, various carbohydrates were added to the culture medium, and their enzymatic digestion was determined by the colour change of pH indicators [6].

Gelatin digestion method. The determination of gelatin hydrolysis is used to assess the proteolytic (protein-splitting) activity of microorganisms. Cultures grown in a nutrient medium containing 12-15% gelatin were incubated at a temperature of $28\text{-}30^\circ\text{C}$ for 5-7 days. If the medium remained liquid at the end of incubation, this indicates the hydrolysis of gelatin by proteases [7].

Amylase activity determination method. This method is used to determine the ability of microorganisms to break down starch. A nutrient medium containing 1% starch is inoculated, and after incubation, Lugol's solution was added to the Petri dish. A colourless zone observed around the colony indicated the breakdown of starch by amylase enzymes [8].

The *Glushanov* method was used in the study to assess the biocompatibility of the selected strains of microorganisms. During the procedure, paired combinations of pure cultures obtained from each region were prepared, and cultures from the same region were compared with each other. For each pair, the first culture was inoculated onto a solid nutrient medium in a Petri dish, and after its growth, the second culture was inoculated at a distance of 1-2 mm. The samples were incubated at a temperature of 30 °C, and after 48 hours, the biocompatibility results were evaluated [9]. Based on the results, strains demonstrating high mutual compatibility were selected.

Results and Discussion

Agrochemical properties of soil and electrical conductivity, pH indicators.

The agrochemical characteristics of soil are among the main factors determining its fertility and the availability of nutrients to plants. The acidity (pH) and ionic strength (electrical conductivity, EC) of the soil environment directly affect the vitality, composition, and dominant species of microorganisms. Therefore, analysis of the agrochemical composition of soil is an important method for predicting the distribution and functioning of microflora and for assessing the biological potential of soil.

The main elements of the agrochemical composition of the soil are key factors determining its fertility, biological activity, and ecological stability. A sufficient amount of nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium) and humus maintains soil structure stability and creates conditions for the active development of microorganisms. The balanced interaction of these elements improves plant nutrition and increases the intensity of biochemical processes in the soil. In general, the optimal level of agrochemical indicators ensures the productivity and microbiological stability of the soil ecosystem [10]. Agrochemical studies were conducted on soil samples from Turkestan, Sauran and Zhanakorgan. The results of the studies are presented in Table 1.

Table 1 – Agrochemical indicators of soil samples from Turkestan, Zhanakorgan and Sauran

Soil sample	Determined indicators, %				
	Total humus	Total indicators			CO ₂
		Nitrogen	Phosphorus	Potassium	
Turkestan	0.46±	0.070±	0.120±	2.498±	5.76±
Zhanakorgan	0.49±	0.098±	0.140±	2.326±	6.32±
Sauran	0.43±	0.077±	0.116±	2.437±	5.76±

Table 1 shows the agrochemical indicators of the three soil samples studied: Turkestan, Zhanakorgan, and Sauran. These indicators included total humus content, total nitrogen, phosphorus, potassium and CO₂. The soil sample from Turkestan showed a total nitrogen content of 0.070%, while the phosphorus and potassium contents were 0.120% and 2.498%, respectively. The CO₂ level was approximately 5.76%, indicating moderate biological activity. Relatively low levels of nitrogen and humus indicate limited accumulation of organic matter and moderate soil fertility.

For comparison, the soil from Zhanakorgan showed slightly higher fertility values. The total humus content reached 0.49%, and the total nitrogen content reached 0.098%, exceeding the values observed in the Turkestan sample. The phosphorus and potassium contents were 0.140% and 2.326%, respectively. The CO₂ concentration was the highest among the soils studied (6.32%), indicating increased microbial respiration and high biological activity. These parameters suggest a more active turnover of organic matter in the soil and better availability of nutrients.

The Sauran soil showed the lowest humus content (0.43%) among the samples, reflecting a reduction in organic matter reserves. The total nitrogen content was 0.077%, phosphorus was 0.116%, and potassium was 2.437%. The CO₂ content (5.76%) was comparable to that of Turkestan, indicating similar, moderate biological activity.

A comparative analysis of the data shows that the soil in Zhanakorgan has the highest fertility potential among the samples studied. This conclusion is confirmed by its humus and total nitrogen contents, which reflect better accumulation of organic matter and nutrient reserves. In addition, the increased concentration of CO₂ indicates enhanced microbial activity and more intense biological processes in the soil, which contribute to improved nutrient cycling and availability. In contrast, the soils from Turkestan and Sauran show lower humus and nitrogen contents, indicating comparatively lower fertility and moderate biological activity.

A number of foreign studies have demonstrated a correlation between pH and electrical conductivity indicators and microbiological parameters. For example, according to *Y.C. Bai* and *Y.Y. Chang* (2020), prolonged exposure to mineral fertilizers leads to a decrease in the amount of organic matter in the soil, which, in turn, affects the structure and diversity of microbial communities [11].

Electrical conductivity is a parameter that measures the concentration of dissolved salts in the soil and reflects the ecological condition affecting plant growth by indicating the level of salinity. The study of the general microflora made it possible to determine the diversity and activity of microorganisms in the soil and served as the basis for assessing the biological fertility of the soil and the level of mineralisation of organic matter [12].

The acidity (pH) and electrical conductivity (salinity level) of soil samples from the Turkestan, Sauran, and Zhanakorgan districts were studied. Table 2 shows the pH and electrical conductivity values of the soil samples.

Table 2 – pH and electrical conductivity of soil samples

№	Soil sample	pH	Electrical conductivity
1	Turkestan	8.1±0.24	290.1±8.7ms/cm
2	Sauran	8.18±0.25	157.7±4.7 ms/cm
3	Zhanakorgan	8.61±0.25	116.5±3.4 ms/cm

As shown in Table 2, the pH and electrical conductivity of soil samples collected from the Turkestan, Sauran and Zhanakorgan districts were determined during the study. The pH level of the Turkestan soil was 8.1 ± 0.24 , indicating an alkaline reaction. This pH may affect the absorption of nutrients by plants and reduce the bioavailability of certain micronutrients. The pH value of the Sauran soil was 8.18 ± 0.25 , which was similar to that of Turkestan. The Zhanakorgan sample had a higher pH value of 8.61 ± 0.25 , indicating that this soil was the most alkaline among the samples studied. High pH values indicate the presence of salinisation and alkalisiation problems, which can negatively affect plant growth and require appropriate agrotechnical measures. A subsequent study by *Qiu Xiong* and *M. Liu* (2024) showed that small changes in pH (approximately $\pm 1-2$ units) caused significant changes in the structure of bacterial and fungal communities. The results of the study

showed that changes in acidity had a greater effect on bacteria than on fungi, altering their abundance and functional activity [13].

Electrical conductivity is an important indicator for assessing the concentration of dissolved salts in soil. In the Turkestan sample, the electrical conductivity was 290.1 ± 8.7 mS/cm, indicating a high level of salinity. This may negatively affect the physiological condition of plant roots and exacerbate the effects of water deficiency and toxic elements. In the Sauran sample, the electrical conductivity was 157.7 ± 4.7 mS/cm, which is within the normal range of salinity, indicating a relatively low concentration of salts in the soil. The electrical conductivity of the Zhanakorgan soil was the lowest, at 116.5 ± 3.4 mS/cm, indicating a minimum level of salinity and the possibility of creating a favourable environment for plant growth.

In general, the soils of the studied regions had an alkaline pH and varying degrees of salinity. While the high electrical conductivity in Turkestan indicates the severity of the salinity problem, the soils of Zhanakorgan and Sauran are relatively more suitable for agricultural use.

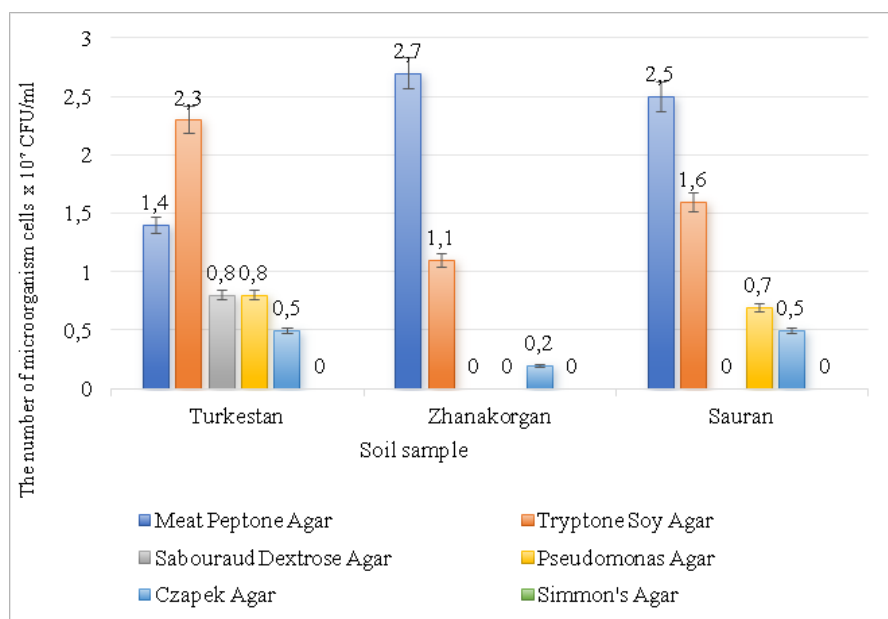


Figure 1 – Microbial community of soil samples from the Turkestan, Zhanakorgan and Sauran districts

As shown in Figure 1, the number of colonies grown on six different nutrient media from the soil microflora of Turkestan was 1.4×10^7 CFU/ml on the universal nutrient medium MPA. On TSA, a nutrient medium for broad-spectrum bacteria, it was 2.3×10^7 CFU/ml, on the Sabouraud nutrient medium for yeast and fungi, it was 0.8×10^7 CFU/ml, on Pseudomonas agar for *Pseudomonas aeruginosa*, it was 0.8×10^7 CFU/ml; and on Czapek medium for mould fungi, it was 0.5×10^7 CFU/ml. However, no growth of microorganisms was observed on Simmons medium used for the cultivation of representatives of the *Enterobacteriaceae* family, indicating that members of the *Enterobacteriaceae* family were absent in the Turkestan soil sample.

The number of colonies grown on six different nutrient media from the microflora of the Zhanakorgan soil was 2.7×10^7 CFU/ml on MPA nutrient medium. On TSA, it was 1.1×10^7 CFU/ml, and on the Czapek medium, it was 0.2×10^7 CFU/ml. However, no growth of microorganisms was observed on Simmons medium for culturing enterobacteria, or on Sabouraud medium and Pseudomonas agar.

Colonies grown from the Sauran soil sample showed the following values: on MPA medium - 2.5×10^7 CFU/ml, on TSA medium - 1.6×10^7 CFU/ml, on agarised Pseudomonas medium - 0.5×10^7 CFU/ml, on Czapek medium - 0.5×10^7 CFU/ml. No microbial growth was observed on Sabouraud and Simmons media. Therefore, *Enterobacteriaceae* and fungi were not detected in the Sauran soil samples. Microbial colonies grew well on MPA, TSA, Czapek, and Pseudomonas media.

Quantitative and qualitative composition of soil microbiocenosis.

The structure and abundance of soil microflora directly depend on agroecological conditions, soil chemical properties, and the amount of organic matter. Microorganisms play a key role in the mineralisation of organic matter and nutrient cycling in the soil, therefore, studying their composition is crucial for improving agricultural productivity. This study made it possible to identify the characteristics of soil microbiocenosis in various regions [15].

Soils from the Turkestan, Sauran, and Zhanakorgan districts were used for microbiological studies. The results are presented in Figure 2.

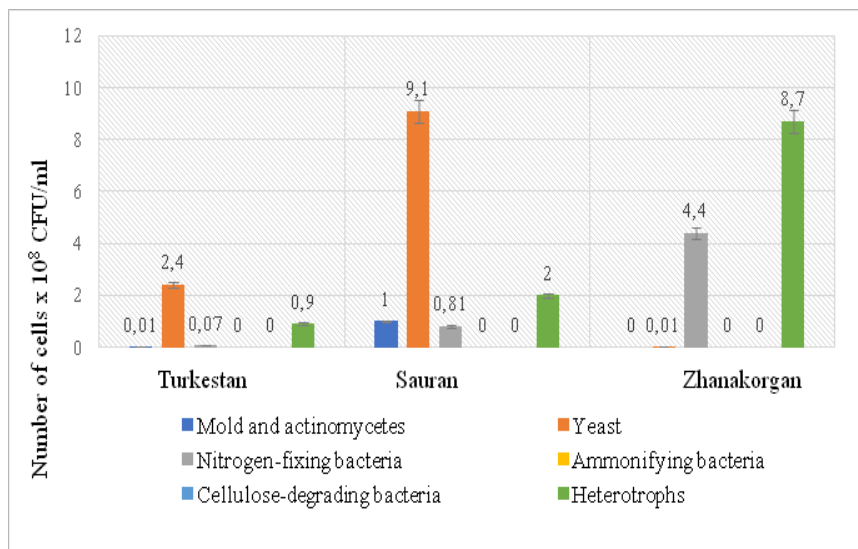


Figure 2 – Quantitative and qualitative composition of soil microbiocenosis

The results of the study presented in Figure 2 showed that the microbiomes of the soil samples from Turkestan, Sauran, and Zhanakorgan differed. In the soil from the Turkestan Botanical Garden, the quantitative composition of the microflora was low. The yeast count in this sample was 2.4×10^8 CFU/ml, and the heterotrophic bacteria count was 0.9×10^8 CFU/ml. The counts of mold fungi and actinomycetes were very low (0.01×10^8 CFU/ml), while nitrogen-fixing, ammonifying, and cellulose-degrading bacteria were not detected.

In the soil sample taken from the Sauran region, the yeast count reached the highest value, 9.1×10^8 CFU/ml. This value indicates intensive decomposition of organic matter in the soil through fermentation processes. In addition, the heterotroph count was 2.0×10^8 CFU/ml, while the counts of mould fungi and actinomycete were 1.0×10^8 CFU/ml. Nitrogen-fixing, ammonifying, and cellulose-degrading microorganisms were also not detected in this sample.

It was established that the microbiological composition of the Zhanakorgan soil was dominated by heterotrophs (8.7×10^8 CFU/ml) and nitrogen-fixing bacteria (4.4×10^8 CFU/ml). These indicators suggest high soil biological activity and intensive nitrogen turnover. However, the number of mould fungi and actinomycetes (0.01×10^8 CFU/ml) was extremely low, and other microbial groups (yeast, ammonifiers, and cellulose decomposers) were also not detected in this sample.


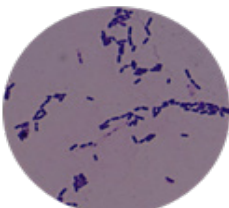

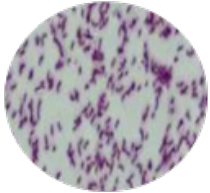

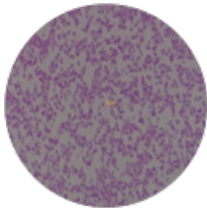

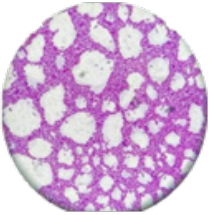
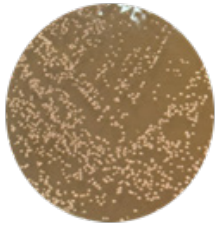
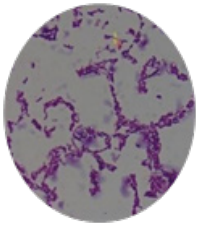
Overall, the obtained data demonstrate the specific structure of the microbiocenosis of the studied soil samples. Although microbial activity in the soils of Turkestan was limited, the high occurrence of certain groups in the Sauran and Zhanakorgan districts indicates that these soils are rich in organic matter and microbiologically active.

The streaking method was used to isolate pure cultures of microorganisms. Eight pure strains isolated from the soil samples were assigned the following conditional names: Turkestan (TBS83; TBS58), Zhanakorgan (Jn1; Jn2), and Sauran (Sn1; Sn5; Sn6; Sn9).

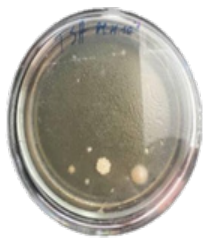
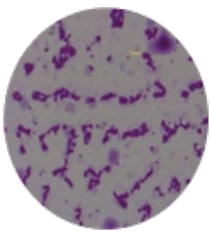

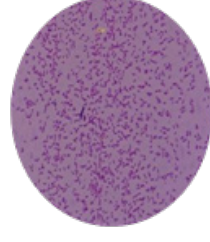

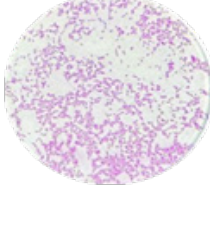
Morphological and cultural properties of pure cultures isolated from soil samples.

A study of the morphological and cultural properties of pure cultures isolated from soil samples was conducted to determine their varietal characteristics and physiological activity. The results make it possible to characterise the diversity of soil microflora and identify the most common groups of microorganisms. Morphological and cultural studies allow the determination of cell shape, size, spatial arrangement, the presence of spores and capsules, and microbial motility. The study determined the macro- and micromorphological characteristics of bacterial strains isolated from soil samples from Sauran (Sn), Zhanakorgan (Jn), and the Turkestan Botanical Garden (TBS). A total of eight strains were studied, and their morphological characteristics are described below. The results are presented in Table 3.

Table 3 – Macromorphological and micromorphological properties of pure cultures

№	Strain name	Macromorphology	Description	Cell micromorphology, ×100	Description
1	<i>Sn1</i>		Shape: round Surface: smooth Profile: smooth Transparency: matte Color: yellowish Edge: smooth Structure: uniform Consistency: soft		Shape: rod-shaped Size: 1.4 μm; Arrangement: clustered Motility: absent Nutrient: TSA Spore formation: spore-forming
2	<i>Sn9</i>		Shape: round Surface: smooth Profile: smooth Transparency: glossy Color: white Edge: smooth Structure: uniform Consistency: soft		Shape: rod-shaped Size: 1.8 μm; 3.6 μm Location: solitary Motility: mobile Nutrient medium: Czapek Spore formation: non-spore-forming
3	<i>Sn5</i>		Shape: round; Size: 5-7 mm; Surface: smooth; Side view: smooth; Transparency: transparent; Color: pigmented white; Edge: smooth; Texture: uniform; Consistency: soft.		Shape: rod Size: 1.6 μm; 3.2 μm Location: solitary; Nutrient medium: Sabouraud; Motility: absent Spore formation: spore-forming
4	<i>Sn6</i>		Shape: round Size: 4-6 mm; Surface: rough; Flatness: convex; Transparency: powdery; Color: pigmented white; Texture: smooth; Structure: uniform Consistency: soft		Shape: rod; Size: 1.15 μm; 2.3 μm; Arrangement: clustered; Nutrient medium: TSA Motility: none
5	<i>Jn1</i>		Shape: round Size: uniform Surface: rough Side view: wavy Transparency: glossy Color: pigmented white Edge: undulate Structure: homogeneous Consistency: soft		Shape: rod-shaped; Size: 1.4–4.4 μm; Arrangement: in groups; Food environment: Czapek; Motility: absent

Continuation of Table 3

6	<i>Jn2</i>		Shape: round Size: 4 mm-1 cm Surface: smooth Width: rough Transparency: shiny Color: white Edge: smooth Structure: uniform Consistency: soft		Shape: spherical; Size: 0.5 μm ; Arrangement: grouped; Nutrient medium: TSA; Motility: absent
7	<i>TBS588</i>		Shape: round; Size: 5-10 mm; Surface: smooth; Side view: smooth; Transparency: transparent; Color: pigmented white; Edge: smooth; Texture: uniform; Consistency: soft.		Shape: rod-shaped Size: 1.5 μm ; 3 μm Arrangement: grouped Nutrient medium: Sabouraud Motility: absent; Spore-forming
8.	<i>TBS583</i>		Shape: round; Size: 2-8 mm; Surface: smooth; Appearance: teardrop-shaped; Transparency: shiny; Color: pigmented white; Edge: smooth; Texture: uniform; Consistency: soft		Shape: rod-shaped; Size: 2 μm ; 4 μm ; Location: clustered; Nutrient medium: Pseudomonas; Motility: absent

As shown in Table 3, the pure cultures isolated from the Turkestan region were TBS583 and TBS588. The pure cultures isolated from the Zhanakorgan district for study were *Jn1* and *Jn2*. The pure cultures isolated from the village of Sauran were *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, and *Sn9*.

Colonies of strains *Sn1*, *Sn5*, and *Sn6* isolated from the Sauran soil sample were round, white or yellowish, with a smooth or rough surface, a uniform structure, and a soft consistency. The cells were rod-shaped (1.15-4.2 μm), arranged singly or in groups, non-motile, and capable of sporulation. Colonies of strain *Sn9* were white, shiny, and round, with rod-shaped cells (1.8-3.6 μm) arranged singly and showing motility. This strain did not form spores.

Colonies of strain *Jn1*, isolated from a soil sample in Zhanakorgan, were white, with a rough surface, wavy edges, and a soft consistency. The cells were rod-shaped (1.4-4.4 μm), arranged in groups, and non-motile. Strain *Jn2* consists of spherical, motile cells (0.5 μm); the colonies were shiny, white, and uniform in structure.

Colonies of TBS588, isolated from a soil sample in the Turkistan Botanical Garden, were white, transparent, smooth, and soft, with rod-shaped cells (1.5-3 μm), arranged in groups; the cells were non-motile, and spore-forming. Strain TBS583 formed round, shiny colonies with rod-shaped cells (2-4 μm), which were non-motile.

Physiological and biochemical properties of promising pure cultures

The physiological and biochemical properties of promising pure cultures isolated during the study were analysed to assess their metabolic activity. The ability of microorganisms to utilise carbon and nitrogen sources, their enzymatic activity, and their resistance to stress factors were determined. These properties indicate the extent of their participation in the turnover of organic matter in the soil and their ability to stimulate plant growth [16].

Studying the growth characteristics of microorganisms at different temperatures and salt concentrations is important for determining their environmental adaptability and physiological resistance. Such studies make it possible to assess the response of microorganisms to extreme environmental factors and determine the possibility of their effective use for biotechnological or agroecological purposes. For example, according to *D. Egamberdieva* (2019), bacteria capable of surviving under high salinity conditions play an important role in the decomposition of organic waste and stimulation of plant growth [17]. In addition, studies of *S. Anjney* (2021) found that changes in temperature and NaCl concentration have a significant effect on the metabolic activity and enzyme secretion of microorganisms [18].

During the study, the tolerance of promising pure cultures isolated from different regions to temperature and salt concentrations was investigated. The growth of pure cultures under different temperature regimes and NaCl concentrations was determined, and their ability to adapt to extreme environmental conditions was assessed (Table 4).

Table 4 – Temperature tolerance and salt tolerance of the studied strains

№	Strain name	to heat resistance			Growth of pure cultures at NaCl concentrations		
		28 °C	37 °C	45 °C	2%	4%	6%
1	<i>Sn1</i>	+++	++	++	+++	++	+
2	<i>Sn9</i>	+++	++	+	+++	++	+
3	<i>Sn5</i>	+++	++	++	+++	++	+
4	<i>Sn6</i>	+++	++	+	+++	++	+
5	<i>Jn1</i>	+++	++	-	+++	++	++
6	<i>Jn2</i>	+++	+++	-	+++	+++	+
7	<i>TBS583</i>	+++	++	+	+++	++	-
8	<i>TBS588</i>	+++	+	+	+++	++	+

Note! +++\very good growth; ++\good growth; +\poor growth; -\no growth

As shown in Table 4, the results of the study on microbial thermostability demonstrated that all strains - *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *Jn1*, *Jn2*, *TBS583*, and *TBS588* - maintained a high growth rate at 28 °C. At 37 °C, the *Jn2* strain demonstrated exceptional tolerance, showing very high growth. At this temperature, the *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *Jn1*, and *TBS583* strains showed moderate growth, while the *TBS588* strain exhibited weak growth. At 45 °C, no growth was observed for strains *Jn1* and *Jn2*, whereas the cultures of *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *TBS583*, and *TBS588* showed weak or low growth.

Based on salinity tolerance indicators, all cultures maintained a high level of growth at a 2% NaCl concentration. At 4% salinity, *Jn1* and *Jn2* continued to grow well, demonstrating high tolerance. The *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, and *TBS583* strains showed moderate growth, while the growth of strain *TBS588* decreased. At a 6% NaCl concentration, *Jn1* maintained a good growth rate, and strain *Jn2* also grew relatively well. The remaining strains - *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, and *TBS588* - showed weak growth at high salt concentrations, while *TBS583* lost its ability to grow in a 6% salt solution.

These data clearly demonstrate the levels of tolerance of the microorganisms to various temperature and salinity stresses. Strains *Jn1* and *Jn2* exhibited relatively high tolerance to elevated temperatures and saline conditions and can therefore be considered effective strains for use under agroecological conditions.

The breakdown of carbohydrates by pure cultures is necessary to meet their energy and carbon requirements. Through this process, microorganisms produce ATP (energy) and synthesize the metabolic products needed for growth and reproduction [19]. The isolated pure cultures were inoculated into media containing glucose, fructose, sucrose, lactose, and maltose. The results of the carbohydrate degradation are shown in Table 5.

Table 5 – Carbohydrate-degrading activity of pure cultures

Strain name	Glucose	Fructose	Sucrose	Maltose	Lactose
<i>Sn1</i>	+	+	+	+	+
<i>Sn9</i>	+	+	+	+	-
<i>Sn5</i>	+	+	+	+	-
<i>Sn6</i>	+	+	+	+	-
<i>TBS583</i>	+	+	+	+	+
<i>TBS588</i>	+	+	+	+	+
<i>Jn1</i>	+	+	+	+	+
<i>Jn2</i>	+	+	+	+	-

Note! +\ indicates degradation; -/ indicates no degradation

The carbohydrate utilization properties of the studied pure cultures indicate their metabolic activity and level of adaptation to the environment. All the strains - *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *TBS583*, *TBS588*, *Jn1* and *Jn2* - demonstrated the ability to hydrolyze glucose, fructose, sucrose, and maltose. This indicates that these microorganisms can effectively utilize major energy substrates and exhibit high adaptability in metabolic processes. However, the ability to utilize lactose varied among the strains. Strains *Sn1*, *TBS583*, *TBS588*, and *Jn1* effectively hydrolyzed lactose, whereas this ability was not observed in strains *Sn9*, *Sn5*, *Sn6*, and *Jn2*.

Microbial amyolytic and gelatinolytic activity

Determining the amyolytic activity of microorganisms makes it possible to assess their ability to break down starch and other complex carbohydrates. This property is important for understanding the role of microorganisms in the carbon cycle and the mineralization of organic matter. In addition, strains with amyolytic activity are widely used in biotechnology, especially in the production of enzymes and biological products [8].

Gelatin degradation is used to determine the proteolytic activity of microorganisms. This property reflects their ability to enzymatically break down protein substrates. Proteolytic microorganisms make a significant contribution to the mineralization of organic residues in soil and to nitrogen cycling. In addition, such microorganisms are used in biotechnology as a source for producing protease enzymes [20]. The amyolytic activity and proteolytic potential of strains *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *Jn1*, *Jn2*, *TBS583*, and *TBS588*, isolated from soil samples collected in the Turkestan Botanical Garden, Sauran, and Zhanakorgan, were studied by assessing starch hydrolysis and gelatin hydrolysis. (Table 6).

Table 6 – Enzymatic activity of isolated pure cultures

Strain name	<i>Sn1</i>	<i>Sn5</i>	<i>Sn6</i>	<i>Sn9</i>	<i>Jn1</i>	<i>Jn2</i>	<i>TBS583</i>	<i>TBS588</i>
Starch	+	+	+	+	+	+	+	+
Gelatin	+	+	+	+	-	+	+	-

Note! +\ indicates degradation; -/ indicates no degradation

The study of microorganisms' amyolytic activity is shown in Figure 3.



Figure 3 – Amyolytic activity of pure cultures

The isolated pure culture strains were inoculated into an egg-peptone-gelatin (EPG) medium.

The results of the gelatin degradation are presented in Table 6.

Regarding the gelatinase activity, strains *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *Jn2*, and *TBS583* hydrolyzed gelatin and showed enzymatic activity. In contrast, gelatinase activity was not detected in strains *Jn1* and *TBS588*, indicating their limited potential for degrading protein substrates. Most of the microorganisms producing amylase also exhibit gelatinase activity, demonstrating broad-spectrum enzymatic potential and a high capacity for organic matter degradation.

Determining the mutual biocompatibility of prospective strains

Determining the biocompatibility of microorganism strains is important for assessing their antagonistic or cooperative interactions. The Glushanov method is based on identifying the zone of growth inhibition between microorganisms. This method is primarily used for selecting biocompatible microorganisms when establishing a consortium, since compatible strains do not inhibit each other's growth but instead may enhance their metabolic activity [9].

The biocompatibility of the pure cultures *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *Jn1*, *Jn2*, *TBS583*, and *TBS588*, isolated from soil samples, was investigated. The biocompatibility results of the *Sn5*-*Sn6* isolates from the Sauran soil sample are shown in Figure 4.

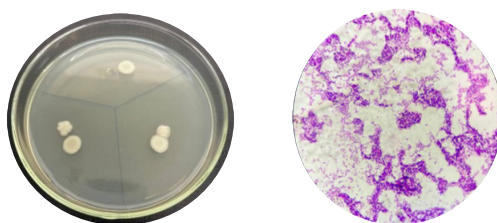


Figure 4 – Visualization of the biocompatibility of the *Sn5*-*Sn6* cultivars

The *Sn5*-*Sn6* pair exhibited mutually compatible growth. Microscopic examination revealed that both strains consisted of short, rod-shaped, non-motile cells. The cells were arranged evenly and densely, and no signs of spore formation were observed. This confirms their physiological similarity and suggests a predisposition to symbiotic interaction.

When *Jn1* and *Jn2*, isolated from the soil of the Zhanakorgan district, were co-cultivated, no zone of inhibition was observed between them, however, the growth boundaries were clearly defined. This pattern indicates an interaction of mutual neutrality and was assessed as a low degree of biocompatibility. Although the cultures grew side by side, no clear signs of compatibility were observed.



Figure 5 – Overview of the biocompatibility of *Jn1*-*Jn2* cultivars

The *TBS583* and *TBS588* cultivars, isolated from Turkestan soil, showed good compatibility and their growth boundaries merged.

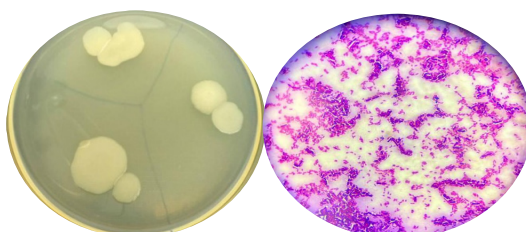


Figure 6 – Overview of the biocompatibility of the *TBS583* and *TBS588* cultivars

A positive correlation was observed between the *TBS583* and *TBS588* isolated from the Turkestan soil sample. Microscopically, both consisted of small, thin, rod-shaped cells arranged in single files. The colony density and structure were also similar, indicating their potential for symbiotic interaction.

Conclusion

An analysis of the agrochemical properties of soils from the Turkestan, Zhanakorgan, and Sauran regions revealed differences in organic and mineral content, reflecting their fertility and biological activity. The soil of Turkestan was characterised by an average level of fertility: humus - 0.46%, total nitrogen - 0.070%, phosphorus - 0.120%, potassium - 2.498%, CO₂ concentration - 5.76%, pH - 8.1, electrical conductivity - 290.1 mS/cm. These values indicate moderate biological activity and a high level of salinity, which may limit nutrient uptake by plants. The soil of Zhanakorgan had the highest fertility potential among the samples studied: humus - 0.49%, total nitrogen - 0.098%, phosphorus - 0.140%, potassium - 2.326%, CO₂ concentration - 6.32%, pH - 8.61, electrical conductivity - 116.5 mS/cm. These indicators point to high microbial activity, intensive organic matter turnover, and minimal salinity, creating favorable conditions for plants. The soil in Sauran has the lowest humus content - 0.43%, total nitrogen - 0.077%, phosphorus - 0.116%, potassium - 2.437%, CO₂ concentration - 5.76%, pH - 8.18, electrical conductivity - 157.7 mS/cm, which corresponds to moderate biological activity and a relatively low level of salinity. A comparative analysis showed that the soils of Zhanakorgan had the highest humus and nitrogen content, as well as the highest CO₂ level and lowest electrical conductivity. This reflects better accumulation of organic matter, more active microbial life, and optimal conditions for plant nutrient uptake. In contrast, the soils of Turkestan and Sauran were characterised by lower humus and nitrogen contents, moderate biological activity, and higher salinity (especially in Turkestan), which may limit their fertility.

The study of the morphological and physiological characteristics of soil microorganisms plays a special role in determining their ecological adaptability and biotechnological significance. The growth characteristics and enzyme activities of pure cultures isolated from soil samples of the Turkestan Botanical Garden and the Sauran and Zhanakorgan regions of the Turkestan and Kyzylorda oblasts reflect the influence of regional ecological factors. Such studies make it possible to assess soil microbiological indicators and to select effective strains for agricultural application.

Physiological studies revealed that all strains maintained high growth activity at 28 °C, indicating their mesophilic nature. At 37 °C, strain *Jn2* exhibited exceptional tolerance, while under high-temperature stress at 45 °C, strains *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, and *TBS583* showed weak but stable growth. According to the salinity tolerance results, all strains grew actively at a 2% NaCl concentration, while at 4% and 6% salinity, strains *Jn1* and *Jn2* were distinguished by their high adaptability. This indicates that they possess halophilic or halotolerant properties and suggests that such microorganisms can be used for the biological restoration and productivity enhancement of saline soils.

In terms of metabolic activity, all of the studied strains were able to efficiently break down glucose, fructose, sucrose, and maltose. This demonstrates their ability to utilize various carbohydrates as carbon sources and confirms the high efficiency of their energy metabolism. However, the ability to hydrolyze lactose varied among the strains. While strains *Sn1*, *TBS583*, *TBS588*, and *Jn1* showed this activity, it was not observed in strains *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, and *Jn2*.

As a result of the study of enzymatic activity, it was determined that all strains synthesised the enzyme amylase, which means that they can hydrolyze starch and use it as a source of energy. Amylase activity plays an important role in the cycling of organic matter in soil and increases the availability of nutrients in the plant rhizosphere. In addition, gelatinase activity was observed in strains *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *Jn2*, and *TBS583*, indicating their ability to degrade protein substrates. However, gelatinase activity was not detected in strains *Jn1* and *TBS588*, suggesting that these strains have limited proteolytic potential.

The results of the study showed that strains *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Sn9*, *Jn1*, *Jn2*, *TBS583*, and *TBS588*, isolated from soil samples from Sauran, Zhanakorgan and the Turkestan Botanical Garden exhibited differences in their morphological, physiological, and biochemical characteristics. Strains *Sn1*, *Sn5*, and *Sn6* isolated from the Sauran soil sample, as well as strains *TBS583* and *TBS588* isolated from the Turkestan Botanical Garden, were identified as *Bacillus* spp. These isolates were homogeneous in colony morphology, structure, and consistency, and exhibited spore-forming ability and high adaptability.

The *Jn1* and *Jn2* strains isolated from the Zhanakorgan district were identified as *Bacillus* spp. and *Micrococcus* spp., respectively, while strain *Sn9* was identified as a representative of *Pseudomonas* spp. These microorganisms, belonging to different genera, demonstrate the biochemical diversity of the soil and the ecological adaptation of the microbiota.

Overall, the results obtained showed that most of the studied strains have high adaptability, enzymatic activity, and the ability to efficiently utilize carbon sources. These properties make strains *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Jn1*, *Jn2*, *TBS583*, and *TBS588* promising microorganisms for biofertilizer production and for enhancing soil biological fertility.

Authors' Contributions

The authors GA, PS, and AM: contributed to the development and design of the research concept, verification of the final version of the article, quality control of experiments, participation in the discussion of the results, and scientific editing of the text. KS, MY, YI: were responsible for the organization and performance of laboratory analyses, processing of the received data, writing of the main part of the article, statistical data processing, preparation of materials, and text structuring. All authors have read, reviewed, and approved the final version of the manuscript.

References

- 1 Smith, P., Adhya, T., Arias-Navarro, C., Chaplot, V., Chivenge, P., Cotrufo, M.F., Engelbrecht, B., Zhang, W. (2024). Status of soils worldwide. *Annual report on environment and resources*, 49, 075629. DOI: 10.1146/annurev-environ-030323-075629.
- 2 Lal, R. (2015). Restoration of soil quality to curb soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895. DOI: 10.3390/su7055875.
- 3 Hu, Y., Han, Y., Zhang, Y. (2020). Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan. *J. Arid Environ*, 180, 104203.
- 4 Вильдфлуш, И.Р. (2018). *Агрохимия. Учебная практика: учебно-методическое пособие*. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 171.
- 5 Лавренчук, Л.С., Ермошин, А.А. (2019). *Микробиология: практикум*. Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 43-47.
- 6 Лысак, В.В., Желдакова, Р.А., Фомина, О.В. (2015). *Микробиология. Практикум: пособие*. Минск: Белорусский государственный университет, 53, 115.
- 7 Li, D., Xu, J., Ju, H., Lu, Z. (2020). Screening and characterization of protease-producing bacteria for gelatin degradation from soil samples. *Frontiers in Microbiology*, 11, 578401. DOI:10.3389/fmicb.2020.578401.
- 8 Sharma, A., Shukla, S., Singh, S. (2021). Screening and characterization of amylase-producing bacteria from soil samples. *Journal of Applied Microbiology*, 131(3), 1122-1133. DOI:10.1111/jam.15041.
- 9 Глушанова, Н.А., Шендеров, Б.А. (2005). Взаимоотношения пробиотических и индигенных лактобацилл хозяина в условиях совместного культивирования *in vitro*. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии*, 2, 56-61.
- 10 Xiao, X., Li, J., Lyu, J., Feng, Z., Zhang, G., Yang, H., Gao, C., Jin, L., Yu, J. (2022). Reduction of chemical fertilizer combined with bio-organic fertilizers increases cauliflower yield via regulation of soil biochemical properties and bacterial communities in Northwest China. *Frontiers in Microbiology*, 13, 922149. DOI:10.3389/fmicb.2022.922149.
- 11 Bai, Y.-C., Chang, Y.-Y., Hussain, M., Lu, B., Zhang, J.-P., Song, X.-B., Lei, X.-S., Pei, D. (2020). Soil Chemical and Microbiological Properties Are Changed by Long-Term Chemical Fertilizers That Limit Ecosystem Functioning. *Microorganisms*, 8(5), 694. DOI:10.3390/microorganisms8050694.
- 12 Liu, D., Gao, P., Niu, J., Qu, Z., Guo, S., Ding, C., Lou, Y., Yang, Q., Wang, H., Yang, Z., Di, H., Pan, H., Zhuge, Y. (2024). Assessment of microbial diversity in various saline soils driven by salt content. *Pedobiologia*, 104, 150997. DOI: 10.1016/j.pedobi.2024.150997.
- 13 Xiong, Q., Liu, M., Wang, Z., et al. (2024). Effects of soil pH changes on bacterial and fungal community composition in agricultural ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology*, 01234-24. DOI: doi.org/10.1128/aem.

14 Maron, P.-A, Sarr, A., Kaisermann, A., Lévêque, J., Mathieu, O., Guigue, J., Karimi, B., Bernard, L., Dequiedt, S., Terrat, S., Chabbi, A., Ranjard, L. (2018). High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(2), e02738-17. DOI:10.1128/AEM.02738-17.

15 Gupta, A., Singh, U.B., Sahu, P.K., Paul, S., Kumar, A., Malviya, D., Singh, S., Kuppusamy, P., Singh, P., Paul, D., Rai, J.P., Singh, H.V., Manna, M.C., Crusberg, T.C., Kumar, A., Saxena, A.K. (2022). Linking soil microbial diversity to modern agriculture practices: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 3141. DOI:10.3390/ijerph19053141.

16 Daunoras, J., Kačergius, A., Gudiukaitė, R. (2024). The role of soil microbiota enzymes in soil health and activity changes depending on climate change and the type of soil ecosystem. *Biology (Basel)*, 13(2), 85. DOI:10.3390/biology13020085.

17 Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., Mishra, J., Arora, N.K. (2019). Salt-tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2791. DOI:10.3389/fmicb.2019.02791.

18 Sharma, A., Singh, R.K., Singh, P., Vaishnav, A., Guo, D.-J, Verma, K.K., Li, D.-P., Song, X.-P, Malviya, M.K., Khan, N., Lakshmanan, P., Li, Y.-R. (2021). Insights into the bacterial and nitric oxide-induced salt tolerance in sugarcane and their growth-promoting abilities. *Microorganisms*, 9(11), 2203. DOI:10.3390/microorganisms9112203.

19 López-Mondéjar, R., Tláskal, V., Nunes da Rocha, U., Baldrian, P. (2022). Global Distribution of Carbohydrate Utilization Potential in the Prokaryotic Tree of Life. *mSystems*, 7(6), e00829-22. DOI:10.1128/msystems.00829-22.

20 Gudzenko, O., Varbanets, L., Avdiyuk, K., Pasichnyk, L. (2023). Proteolytic activity of Bacillus strains isolated from soil of rice agrocenosis. *Mikrobiolohichniy Zhurnal*, 85(6), 41-47. DOI:10.15407/microbiolj85.06.041.

References

1 Smith, P., Adhya, T., Arias-Navarro, C., Chaplot, V., Chivenge, P., Cotrufo, M.F., Engelbrecht, B., Zhang, W. (2024). Status of soils worldwide. *Annual report on environment and resources*, 49, 075629. DOI: 10.1146/annurev-environ-030323-075629.

2 Lal, R. (2015). Restoration of soil quality to curb soil degradation. *Sustainability*, 7(5), 5875-5895. DOI: 10.3390/su7055875.

3 Hu, Y., Han, Y., Zhang, Y. (2020). Land desertification and its influencing factors in Kazakhstan. *J. Arid Environ*, 180, 104203.

4 Vil'dflush, I.R. (2018). *Agrohimiya. Uchebnaya praktika: uchebno-metodicheskoe posobie*. Gorki: Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skohozyaistvennaya akademiya, 171.

5 Lavrenchuk, L.S., Ermoshin, A.A. (2019). *Mikrobiologiya: praktikum*. Ekaterinburg: Ural'skii federal'nyi universitet, 43-47.

6 Lysak, V.V., Zheldakova, R.A., Fomina, O.V. (2015). *Mikrobiologiya. Praktikum: posobie*. Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi universitet, 53, 115.

7 Li, D., Xu, J., Ju, H., Lu, Z. (2020). Screening and characterization of protease-producing bacteria for gelatin degradation from soil samples. *Frontiers in Microbiology*, 11, 578401. DOI:10.3389/fmicb.2020.578401.

8 Sharma, A., Shukla, S., Singh, S. (2021). Screening and characterization of amylase-producing bacteria from soil samples. *Journal of Applied Microbiology*, 131(3), 1122-1133. DOI:10.1111/jam.15041.

9 Glushanova, N.A., Shenderov, B.A. (2005). Vzaimootnosheniya probioticheskikh i indigennykh laktobacill hozyaina v usloviyah sovместnogo kul'tivirovaniya in vitro. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunologii*, 2, 56-61.

10 Xiao, X., Li, J., Lyu, J., Feng, Z., Zhang, G., Yang, H., Gao, C., Jin, L., Yu, J. (2022). Reduction of chemical fertilizer combined with bio-organic fertilizers increases cauliflower yield via regulation of soil biochemical properties and bacterial communities in Northwest China. *Frontiers in Microbiology*, 13, 922149. DOI:10.3389/fmicb.2022.922149.

11 Bai, Y.-C., Chang, Y.-Y., Hussain, M., Lu, B., Zhang, J.-P., Song, X.-B., Lei, X.-S., Pei, D. (2020). Soil Chemical and Microbiological Properties Are Changed by Long-Term Chemical Fertilizers That Limit Ecosystem Functioning. *Microorganisms*, 8(5), 694. DOI:10.3390/microorganisms8050694.

12 Liu, D., Gao, P., Niu, J., Qu, Z., Guo, S., Ding, C., Lou, Y., Yang, Q., Wang, H., Yang, Z., Di, H., Pan, H., Zhuge, Y. (2024). Assessment of microbial diversity in various saline soils driven by salt content. *Pedobiologia*, 104, 150997. DOI: 10.1016/j.pedobi.2024.150997.

13 Xiong, Q., Liu, M., Wang, Z., et al. (2024). Effects of soil pH changes on bacterial and fungal community composition in agricultural ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology*, 01234-24. DOI: doi.org/10.1128/aem.

14 Maron, P.-A, Sarr, A., Kaisermann, A., Lévêque, J., Mathieu, O., Guigue, J., Karimi, B., Bernard, L., Dequiedt, S., Terrat, S., Chabbi, A., Ranjard, L. (2018). High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(2), e02738-17. DOI:10.1128/AEM.02738-17.

15 Gupta, A., Singh, U.B., Sahu, P.K., Paul, S., Kumar, A., Malviya, D., Singh, S., Kuppusamy, P., Singh, P., Paul, D., Rai, JP, Singh, H.V., Manna, M.C., Crusberg, T.C., Kumar, A., Saxena, A.K. (2022). Linking soil microbial diversity to modern agriculture practices: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 3141. DOI:10.3390/ijerph19053141.

16 Daunoras, J., Kačergius, A., Gudiukaitė, R. (2024). The role of soil microbiota enzymes in soil health and activity changes depending on climate change and the type of soil ecosystem. *Biology (Basel)*, 13(2), 85. DOI:10.3390/biology13020085.

17 Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., Mishra, J., Arora, N.K. (2019). Salttolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2791. DOI:10.3389/fmicb.2019.02791.

18 Sharma, A., Singh, R.K., Singh, P., Vaishnav, A., Guo, D.-J, Verma, K.K., Li, D.-P., Song, X.-P, Malviya, M.K., Khan, N., Lakshmanan, P., Li, Y.-R. (2021). Insights into the bacterial and nitric oxide-induced salt tolerance in sugarcane and their growth-promoting abilities. *Microorganisms*, 9(11), 2203. DOI:10.3390/microorganisms9112203.

19 López-Mondéjar, R., Tláskal, V., Nunes da Rocha, U., Baldrian, P. (2022). Global Distribution of Carbohydrate Utilization Potential in the Prokaryotic Tree of Life. *mSystems*, 7(6), e00829-22. DOI:10.1128/msystems.00829-22.

20 Gudzenko, O., Varbanets, L., Avdiyuk, K., Pasichnyk, L. (2023). Proteolytic activity of Bacillus strains isolated from soil of rice agrocenosis. *Mikrobiolohichniy Zhurnal*, 85(6), 41-47. DOI:10.15407/microbiolj85.06.041.

Оңтүстік Қазақстан топырақтарының агрохимиялық қасиеттері мен микробтық әртүрлілігін зерттеу

Абдиева Г.Ж., Уалиева П.С., Мәлік А.М., Шауалиева К.С., Ермакова М.Е., Дәулетқан І.Е.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Топырақ экожүйенің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, өсімдіктердің өсуі мен дамуы үшін қажетті қоректік заттармен және су ресурстарымен қамтамасыз етеді. Топырақтың агрохимиялық қасиеттері, рН және электр өткізгіштігі микроорганизмдердің өміршеңдігі мен биологиялық белсенділігін анықтайды.

Бұл зерттеудің мақсаты Сауран, Жаңақорған және Түркістан аймақтарында жиналған топырақ үлгілерінің агрохимиялық көрсеткіштерін (рН, электрөткізгіштік, қоректік заттардың құрамы) зерттеу, сондай-ақ топырақ микрофлорасының құрамын және микроорганизмдер штамдарының морфологиялық-культуралдық және физиологиялық-биохимиялық қасиеттерін бағалау болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында стандартты әдістерді қолдана отырып, әр аймақтан таңдалған топырақ үлгілерінің агрохимиялық көрсеткіштері анықталды. Топырақтан

морфологиялық-культуралдық және физиологиялық-биохимиялық қасиеттері зерттелген микроорганизмдердің таза дақылдары бөлінді. Штамдардың көмірсуларды қолдану қабілеті, амилаза және желатиназа ферменттерінің белсенділігі және олардың температураға және тұзға төзімділігі бағаланды. Сонымен қатар, оқшауланған штамдардың өзара биоүйлесімділігі зерттелді.

Нәтижелер. Оқшауланған микроорганизмдер туыс деңгейінде анықталды және *Bacillus* spp., *Micrococcus* spp. және *Pseudomonas* spp. туыстарына жатады. *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Jn1*, *Jn2*, *TBS583* және *TBS588* штамдары жоғары ферментативті белсенділікке, көмірсуларды тиімді сіңіру қабілетіне және температура мен тұздың әсеріне төзімділікке ие. Биоүйлесімділік нәтижелері олардың антагонизмсіз бірге өсу қабілетін көрсетті. Қорытынды. Зерттелген штамдар топырақтың биологиялық құнарлылығын арттыру және экологиялық таза биотыңайтқыштар алу үшін перспективті микроорганизмдер болып табылады. Оларды ауыл шаруашылығында пайдалану өсімдіктердің өнімділігін арттыруға және топырақтың экологиялық тепе-теңдігін сақтауға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: агрохимиялық қасиеттері; биотыңайтқыш; микроорганизмдер; топырақ құнарлылығы; топырақ микрофлорасы.

Изучение агрохимических свойств и микробного разнообразия почв Южного Казахстана

Абдиева Г.Ж., Уалиева П.С., Малик А.М., Шауалиева К.С., Ермекова М.Е., Даулетхан И.Е.

Аннотация

Предпосылки и цель. Почва является важным компонентом экосистемы, обеспечивая растения питательными веществами и водными ресурсами, необходимыми для роста и развития. Агрохимические свойства, pH и электропроводность почвы определяют жизнеспособность и биологическую активность микроорганизмов. Целью данного исследования является изучение агрохимических показателей (pH, электропроводность, содержание питательных веществ) образцов почвы, собранных в Сауранском, Жанакорганском и Туркестанском районах, а также оценка состава почвенной микрофлоры и морфологических, культуральных и физиолого-биохимических свойств штаммов микроорганизмов.

Материалы и методы. В ходе исследования были определены агрохимические показатели почвенных образцов, собранных в каждом районе, с использованием стандартных методов. Были изучены морфологические, культуральные и физиолого-биохимические свойства чистых культур микроорганизмов, выделенных из почвы. Были оценены способность штаммов усваивать углеводы, активность ферментов амилазы и желатиназы, а также термо- и солеустойчивость. Кроме того, была проведена оценка взаимной биосовместимости выделенных штаммов.

Результаты. Выделенные микроорганизмы были идентифицированы на уровне семейства и принадлежат к родам *Bacillus* spp., *Micrococcus* spp. и *Pseudomonas* spp. Штаммы *Sn1*, *Sn5*, *Sn6*, *Jn1*, *Jn2*, *TBS583* и *TBS588* обладают высокой ферментативной активностью, способностью эффективно усваивать углеводы и устойчивостью к воздействию температуры и соли. Результаты биосовместимости показали их способность расти вместе без антагонизма.

Закключение. Изученные штаммы являются перспективными микроорганизмами для повышения биологического плодородия почвы и получения экологически чистых биоудобрений. Их использование в сельском хозяйстве позволяет повысить продуктивность растений и поддерживать экологический баланс почвы.

Ключевые слова: агрохимические свойства; биоудобрение; микроорганизмы; плодородие почвы; почвенная микрофлора.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. - № 1 (129). - Р.-68-76. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2109

УДК 635.925

Исследовательская статья

Научный опыт по адаптации интродуцентов в зелёном поясе города Астаны

Кабанова С.А.¹ , Оспангалиев А.С.¹ , Кабанов А.Н.² 

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина
Астана, Казахстан

²ГНПП «Бурабай», п. Боровое, Казахстан

Автор-корреспондент Кабанова С.А.: kabanova.05@mail.ru

Соавторы: (1: АО) a.ospangaliyev@mail; (2: АК) 7058613132@mail.ru

Получено: 08.01.2026 Принято: 03.03.2026 Опубликовано: 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. Видовой состав древесных и кустарниковых пород, используемых в городском озеленении и зелёном поясе г. Астаны, отличается ограниченным ассортиментом. Поэтому для увеличения биоразнообразия необходимо привлечение инорайонных растений, устойчивых к сложным почвенно-климатическим условиям региона. Цель исследования - изучить современное состояние интродуцентов в зелёном поясе г. Астаны.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись хвойные и лиственные интродуценты, высаженные в 2011 году в зелёном поясе г. Астаны с открытой (ОКС) и закрытой (ЗКС) корневой системой. Для определения устойчивости интродуцентов использовали методы инвентаризации лесных культур, предусмотренные общепринятыми методиками.

Результаты. Выявлено, что наибольшая сохранность среди растений с открытой корневой системой (ОКС) отмечена у дуба черешчатого (85,3%) и ели сибирской (66,2%). Наибольшей сохранностью среди саженцев с закрытой корневой системой (ЗКС) отличались представители рода *Picea*: ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) и ель Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.), показатели сохранности которых составили соответственно 75,4; 56,9 и 42,5%. Величина прироста древесных растений варьировала на среднем и высоком уровне, что свидетельствует о значительной изменчивости данного показателя, значение которого зависит от биологических особенностей растений и погодных условий. Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) достиг средней высоты 586,2 см, а высота лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) составила 492,1 см. Среди интродуцентов рода *Picea* лидирующие позиции практически по всем таксационным показателям занимали ель черная (*Picea mariana* (Mill.) Britton,) и ель колючая. В настоящее время цветение и плодоношение наблюдаются у ели черной, ели сибирской, ели Энгельмана (ЗКС), а также лиственницы сибирской и дуба черешчатого (ОКС).

Закключение. По результатам исследований для дальнейшего использования в зелёном поясе г. Астаны можно рекомендовать дуб черешчатый, ель колючую и ель сибирскую, характеризующиеся высокой сохранностью, хорошим состоянием и устойчивостью к почвенно-климатическим условиям региона. При соблюдении оптимальной агротехники посадки и ухода можно также рекомендовать введение в культуру ели черной и ели Энгельмана, которые отличаются высокой декоративностью и достаточной устойчивостью.

Ключевые слова: зелёный пояс; Астана; интродуценты; озеленение; рост; оценка.

Введение

Город Астана расположен в зоне резко-континентального климата, характеризующегося суровыми, продолжительными зимами с сильными ветрами и жарким, засушливым летом. Эти экстремальные почвенно-климатические условия представляют серьёзные ограничения для устойчивого развития озеленения. В последние десятилетия в целях улучшения экологической ситуации, смягчения микроклимата и защиты от ветровой эрозии вокруг столицы был создан масштабный зелёный пояс. Этот пояс является критически важным экологическим и санитарно-защитным каркасом, эффективность и долговечность которого напрямую зависят от жизнеспособности используемого древесно-кустарникового ассортимента.

В настоящее время видовой состав в городском озеленении и зелёном поясе остаётся ограниченным, что создаёт высокие риски для всей экосистемы в случае вспышек болезней или усиления климатического стресса. Для повышения биологического разнообразия и экологической устойчивости насаждений необходимо активное привлечение перспективных инорайонных растений, их акклиматизация и адаптация [1]. Согласно изученной литературе, исследований по наблюдениям за ростом и состоянием зелёных зон населённых пунктов крайне мало. Рассмотрим городское озеленение, которое не отличается большим разнообразием [2, 3, 4]. В г. Костанай ассортимент растений в городских насаждениях состоит из 43 видов [5]. В Западном Казахстане хорошо адаптировались в городской среде г. Актюбинск 9 древесных пород и 9 кустарников. Их планируется вводить в озеленение городов Западного Казахстана [6]. В результате проведённых исследований отобраны древесные и кустарниковые растения в дендропарке и арборетуме Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации [7], а также в дендрарии РГП «Жасыл Аймак» [8]. В зелёной зоне г. Астана в начале закладки озеленительных насаждений высаживалось 15 древесных пород, в настоящее время ассортимент расширен до 19. Следует отметить, что практически все древесные и кустарниковые породы, произрастающие в зелёном поясе, кроме берёзы повислой и сосны обыкновенной, являются интродуцентами.

Негативное влияние на рост и состояние древесных растений имеет засоленность почвы, что снижает сопротивляемость древесных растений болезням и вредителям, влияет на их рост и развитие [9, 10, 11], из-за снижения доступности макро- и микроэлементов появляется минеральный голод [12, 13], антропогенное воздействие на поверхностный гумус снижает активность почвенных микроорганизмов [14]. Используя биологические особенности солеустойчивых деревьев и кустарников и изучая механизмы выживания их на засоленных почвах, можно минимизировать негативное влияние засоления и подобрать инорайонные деревья, устойчивые к почвенно-климатическим условиям зелёного пояса г. Астана.

Успешное озеленение возможно только при использовании видов, обладающих высокой морозостойкостью, засухоустойчивостью и солеустойчивостью. Поэтому актуальность исследований определяется острой необходимостью повышения экологической устойчивости и функциональной эффективности городского и пригородного озеленения в экстремальных климатических условиях. Привлечение инорайонных растений, устойчивых к местным условиям, является единственным эффективным путём для расширения биологического разнообразия, что повышает экологическую устойчивость зелёного пояса.

Таким образом, актуальность исследования высока, поскольку она напрямую направлена на повышение устойчивости, надёжности и долговечности главного элемента экологической инфраструктуры столицы – её зелёного пояса. Результаты исследований позволят создать научно-обоснованную базу для дальнейшего проектирования и использования интродуцентов, исключив малоперспективные виды и оптимизировав ассортимент, что обеспечит экономическую эффективность лесоразведения.

Целью наших исследований является изучение современного состояния интродуцентов в зелёном поясе г. Астана, а также оценка их перспективности по ключевым биометрическим показателям (сохранность, прирост, высота) для разработки научно-обоснованных рекомендаций по их дальнейшему внедрению в озеленение.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись хвойные и лиственные интродуценты, которые были высажены в 2011 году с открытой (ОКС) и закрытой (ЗКС) корневой системой в зелёном поясе г. Астана в кварталах 53-62 на лесопригодных почвах. Возраст саженцев ЗКС на момент посадки составил два года, саженцев ОКС – от двух (дуб черешчатый и другие) до четырёх лет (ель сибирская). При изучении роста и состояния инорайонных деревьев были использованы общепринятые методики и нормативные документы по инвентаризации лесных культур [15, 16]. Сохранность растений определялась как соотношение числа сохранившихся растений к погибшим и выражалась в процентах. Высота деревьев, достигших 3 м, измерялась рейкой, выше 3 м – высотомером. Диаметр измерялся штангенциркулем у шейки корня с точностью до 0,5 см. Диаметр ствола у шейки корня измерялся по причине того, что не все деревья достигли высоты более 3 м, когда диаметр определяется на высоте ствола 1,5 м. Текущий прирост замерялся линейкой с точностью до 1 см. Полученные данные обрабатывались статистическими методами с использованием программ «Статистика» и «Excel». Для анализа динамики изменения таксационных признаков и сохранности интродуцентов были использованы данные, полученные за период 2011-2024 годов.

Результаты и обсуждение

На следующий год после посадки приживаемость интродуцентов с ОКС колебалась от 35,8 (лиственница сибирская) до 95,3%, саженцев с ЗКС – от 16,2 (пихта бальзамическая (*Abies balsamea* (L.) Mill) до 87,8% (ель сибирская) (таблица 1). К 2024 году сильно снизилась сохранность по сравнению с 2011 годом у пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), (на 32,9%) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (на 20,0%) (ОКС), а также у ели Энгельмана (на 26,2%) (ЗКС). У остальных пород показатель колебался от 3 до 16%. В настоящее время наибольшая сохранность наблюдается у саженцев ОКС у дуба черешчатого (85,3%) и ели сибирской (66,2%). Хуже сохранилась пихта сибирская (11,0%) и местный вид – сосна обыкновенная (21,7%). Наибольшей сохранностью отличались саженцы ЗКС рода Ель – ель сибирская, ель колючая и ель Энгельмана (соответственно 75,4, 56,9 и 42,5%). Пихта бальзамическая погибла практически полностью (2,2%).

Таблица 1 – Динамика приживаемости и сохранности интродуцированных и местных растений по годам наблюдений

Порода	Сохранность, %									
	2011	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ОКС										
Сосна обыкновенная	41,7	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	23,4	22,4	21,7	21,7
Пихта сибирская	43,9	20,3	19,4	17,2	16,5	15,4	11,0	11,0	11,0	11,0
Ель сибирская	69,5	69,4	68,5	68,4	66,9	66,2	66,2	66,2	66,2	66,2
Лиственница сибирская	35,8	33,5	32,8	30,7	30,1	29,7	29,0	29,0	29,0	29,0
Дуб черешчатый	95,3	87,2	87,1	87,4	88,4	85,1	85,3	85,3	85,3	85,3
ЗКС										
Ель черная	41,5	40,4	40,4	40,3	29,6	28,6	28,6	28,0	27,3	27,3
Ель Энгельмана	68,7	49,0	48,2	47,3	43,8	42,9	42,8	42,7	42,7	42,5
Ель колючая	72,9	64,8	63,2	63,0	62,1	59,5	59,0	58,9	56,9	56,9
Ель сибирская	87,8	81,2	80,0	80,0	76,9	76,8	75,4	75,4	75,4	75,4
Пихта бальзамическая	16,2	9,4	9,4	8,8	7,3	5,2	3,4	2,0	2,2	2,2

Практически у всех древесных пород, начиная с 2021 года, сохранность снижалась мало, что говорит об установлении равновесия и устойчивости к различным стрессовым факторам. В целом, средняя сохранность саженцев ОКС составила 42,6%, саженцев ЗКС – 40,8%.

В таблице 2 приведены данные на 2024 год по высоте, приросту и диаметру культур интродуцентов, высаженных с открытой и закрытой корневой системой.

Таблица 2 – Биометрические показатели интродуцированных и местных пород

Порода	Диаметр, см		Высота, см		Прирост, см	
	X±m	V, %	X±m	V, %	X±m	V, %
ОКС						
Сосна обыкновенная	6,0±0,1	24,8	557,3±7,9	22,1	33,3±0,5	25,8
Пихта сибирская	4,5±0,1	28,0	232,2±6,4	25,7	33,5±1,2	31,8
Ель сибирская	6,3±0,1	34,2	340,6±6,6	26,1	37,4±0,8	29,8
Лиственница сибирская	8,3±0,1	26,5	492,1±9,3	15,5	40,7±1,2	26,4
Дуб черешчатый	8,9±0,1	25,4	586,2±10,6	18,8	60,4±2,2	38,3
ЗКС						
Ель черная	2,8±0,1	35,1	320,6±11,0	26,6	30,7±1,0	27,4
Ель Энгельмана	1,7±0,1	43,1	218,7±12,3	44,6	22,2±1,0	43,1
Ель колючая	3,0±0,1	31,5	310,6±5,9	22,8	25,5±0,7	32,2
Ель сибирская	3,0±0,1	28,6	297,5±12,7	20,5	36,7±1,7	28,2
Пихта бальзамическая	0,7±0,1	42,9	162,7±9,9	29,8	28,7±1,8	32,0

Наибольшим приростом в 2024 году обладали дуб черешчатый и лиственница сибирская (ОКС), из саженцев ЗКС – ель черная. Изменчивость данного показателя колебалась на среднем и высоком уровне, что говорит о больших различиях прироста. Дуб черешчатый достиг средней высоты 586,2 см. Следует отметить, что при повреждении ствола грызунами, прирост деревьев достигал 60-80 см ежегодно и высота повреждённых деревьев была больше, чем неповреждённых. Высота лиственницы сибирской составила 492,1 см, коэффициент вариации изменялся на среднем уровне, следовательно, высота растений значительно не различалась.

Поскольку сравнивать высоту и диаметр различных видов древесных растений не корректно из-за биологических особенностей их роста, сравним деревья рода Ель. По наблюдениям изучаемого вегетационного периода лидирующую позицию практически по всем количественным показателям занимали ель черная и ель колючая. Наименьшими размерами отличалась ель Энгельмана, но это соответствует ее биологическим особенностям.

На рисунке 1 видно, что существенное различие по высоте и диаметру наблюдалось у ели Энгельмана, а по высоте – у ели колючей. Размах показателей диаметров у ели колючей был более сглаженный, но имелось несколько выбросов, то есть наблюдалось значительное увеличение показателя у отдельных экземпляров. Рост ели сибирской характеризовался наименьшими различиями.

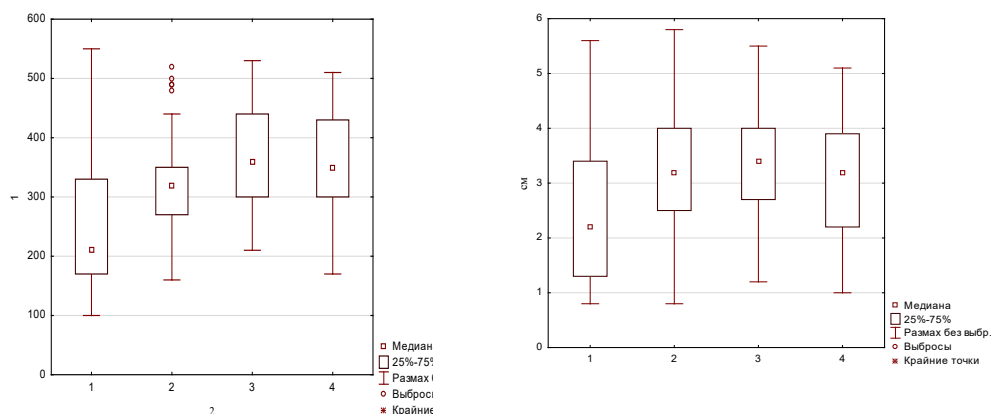


Рисунок 1 – Показатели высоты (а) и диаметра (б) деревьев рода Ель, высаженных с закрытой корневой системой
 1 – ель Энгельмана, 2 – ель колючая, 3 – ель сибирская, 4 – ель черная

Высота ели сибирской ОКС по сравнению с аналогичным показателем саженцев ели сибирской ЗКС была больше на 14%, но в данном случае, вероятно, повлиял не способ посадки, а возраст саженцев, т.к. возраст саженцев ОКС при посадке был 4-5 лет, в то время как саженцы ЗКС были высажены двулетними.

Наибольшая разница между минимальной и максимальной высотой деревьев в 5 раз наблюдалась у ели Энгельмана, у которой один экземпляр достиг высоты 550 см, а минимальная высота у 55 деревьев составила около 100 см (рисунок 2). Значительный разбег по высоте (в 4,5 раза) был у ели сибирской ОКС, наименьшая высота которой составила 140 см, максимальная - 610 см. У остальных пород разница по высоте была небольшой, примерно в 2 раза.

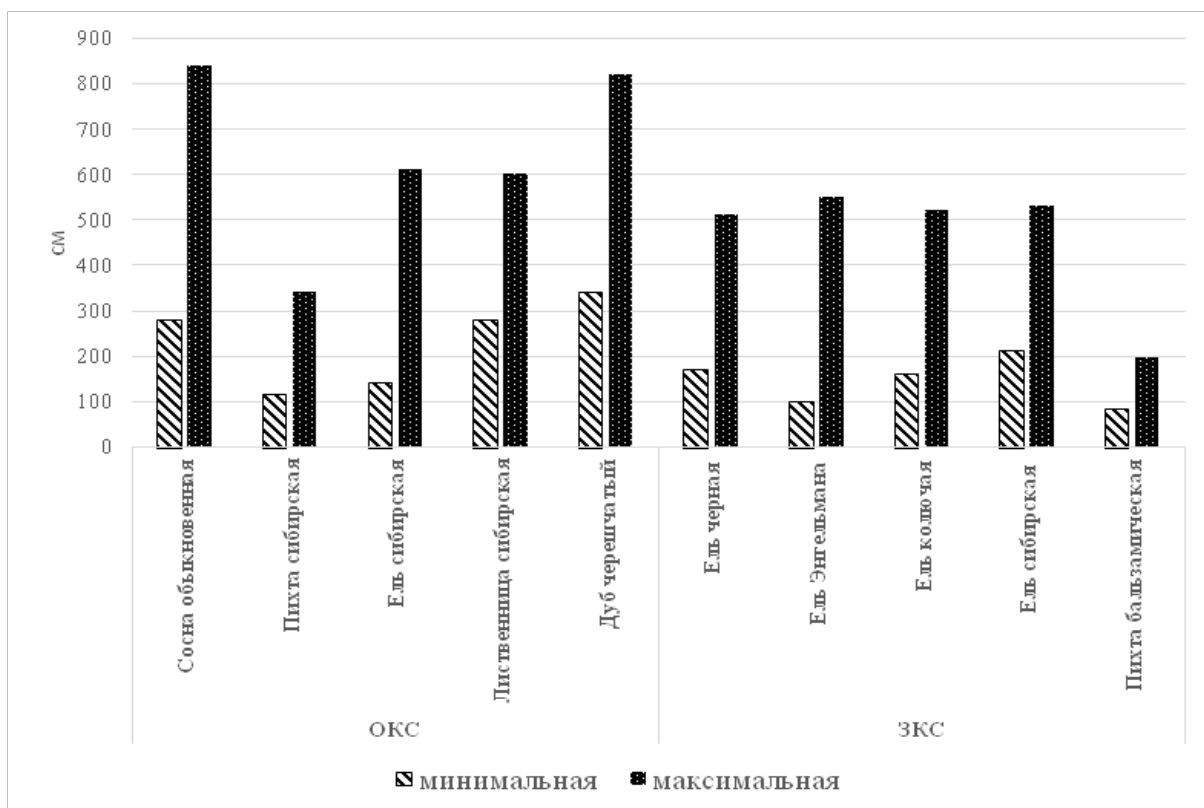


Рисунок 2 – Разница между минимальной и максимальной высотой древесных растений

В целом, хорошим состоянием отличались дуб черешчатый, ель сибирская и ель колючая. В настоящее время наблюдается цветение и плодоношение у ели черной, ели сибирской, ели Энгельмана (ЗКС), лиственницы сибирской и дуба черешчатого (ОКС). Плодоношение интродуцентов говорит об адаптации их к почвенно-климатическим условиям зелёного пояса.

Заключение

Способ посадки посадочного материала, высаженного с открытой и закрытой корневой системой, практически не сказался на сохранности, так, средняя сохранность саженцев ОКС составила 42,6%, саженцев ЗКС – 40,8%. Лучше всего сохранился дуб черешчатый (85,3%) и ель сибирская (66,2%) (ОКС), наилучший показатель саженцев ЗКС был у ели сибирской, ели колючей и ели Энгельмана (соответственно 75,4, 56,9 и 42,5%). Резко-континентальный климат и почвенные условия зелёного пояса были непригодными для пихты бальзамической и сибирской.

Наибольшим приростом в 2024 г. обладали дуб черешчатый и лиственница сибирская (ОКС), из саженцев ЗКС – ель черная, но данный показатель был очень изменчив для каждой древесной породы.

Высота деревьев соответствовала биологическим особенностям породы, наиболее высокорослыми были дуб черешчатый и лиственница сибирская (ОКС). Лидирующую позицию по высоте среди саженцев ЗКС занимали ель черная и ель колючая.

По результатам исследований можно рекомендовать для дальнейшего внедрения в зелёный пояс г. Астана следующие интродуценты: дуб черешчатый, ель колючую и ель сибирскую. Кроме того, хотя ель черная и ель Энгельмана имели небольшую сохранность, данные древесные породы весьма декоративны и устойчивы к почвенно-климатическим условиям региона. При условии соблюдения агротехники посадки и последующего содержания данные породы можно также рекомендовать к введению в ассортимент лесных культур на лесопригодных почвах.

Успех интродукции в условиях резко-континентального климата г. Астана не определяется единственным фактором, таким как способ посадки (ОКС или ЗКС). Наблюдаемая незначительная разница в сохранности между саженцами с открытой и закрытой корневой системой свидетельствует о том, что эффективность технологии нивелируется воздействием внешних стрессовых условий, а также зависит от биологической устойчивости самой породы и качества последующей агротехники.

Вклад авторов

СК: концептуализация и оформление исследования, подготовка рукописи. АК: поиск литературы, анализ и обработка данных. АО: окончательная редакция и вычитка рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Борцову В.А. и Шахматову П.Ф. в сборе и обработке материала.

Список литературы

- 1 Токарева, Т.Г. (2018). Интродуценты в городских зелёных насаждениях г. Волгограда. *Сборник научных трудов ГНБС*, 147, 157-159.
- 2 Сапелин, А.Ю. (2021). Редкие виды древесных растений, встречающиеся в озеленении г. Москвы. *Лесной вестник*, 2, 73-80. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-73-80.
- 3 Данилова, Н.С., Сабарайкина, С.М. (2018). Видовой состав и устойчивость древесных растений в насаждениях города Якутска. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 5, 71-80.
- 4 Иевская, А.А., Корсунова Т.М. (2020). Изучение состояния растительности в системе озеленения города Улан-Удэ. *Самарский научный вестник*, 2(31), 54-59. DOI 10.17816/snv202109.

- 5 Брагинец, Л.А. (2017). Инвазийный потенциал адвентивных агрофитов дендрофлоры города Костаная и его окрестностей. *Леса России и хозяйство в них*, 1(60), 41-49.
- 6 Утешкалиев, М.Д., Ахметов, Р.С. (2013). Комплексная адаптационная оценка интродуцентов в Западном Казахстане. *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*, 1, 44-47.
- 7 Крекова, Я.А., Залесов, С.В. (2019). История интродукции древесных растений на территории Западной Сибири и Северного Казахстана. *Леса России и хозяйство в них*, 2(69), 4-14.
- 8 Азбаев, Б.О., Рахимжанов, А.Н., Ражанов, М.Р., Суюндиков, Ж.О. (2013). Расширение биоразнообразия путём искусственного лесоразведения в санитарно-защитной зоне г. Астаны. *Развитие «зелёной экономики» и сохранение биологического разнообразия*, 21-25.
- 9 Mustapha, T., Baita, H.U., Danazumi, I.A. (2022). Soil salinity is a serious environmental threat to plant diseases. *Dutse journal of pure and applied sciences*, 8, 1-8. DOI: 10.4314/dujopas.v8i4b.1
- 10 Arvind, R., Nirmalendu, B., Parul, S. (2021). Chemistry of Salt-affected Soils. *In book: Salinity Management in India* Publisher: Indian Council Agricultural Research, New Delhi, India, 130-149.
- 11 Yadav, G., Jagdhani, A., Sawale, D. (2022). Evaluation of salt combinations on the basis of soluble cations and anions in the soil. *Frontiers in Crop Improvement*, 9, 2880-2884.
- 12 Hailu, B., Mehari, H. (2021). Impacts of soil salinity/sodicity on soil-water relations and plant growth in dry land areas: a review. *Journal of Natural Sciences Research*, 12, 1-10. DOI: 10.7176/JNSR/12-3-01.
- 13 Rengasamy, P., Lacerda, C., Gheyi, H. (2022). Salinity, Sodicity and Alkalinity Subsoil Constraints for Crop Production, 83-107. DOI:10.1007/978-3-031-00317-2_4.
- 14 Samec, P., Kucera, A., Tomašova, G. (2022). Soil degradation processes linked to long-term forest-type damage. *Forest degradation under global change*, 22-29. DOI:10.5772/intechopen.106390.
- 15 ИПС «Әділет». (2012). *Правила проведения инвентаризации лесных культур, питомников, площадей с проведенными мерами содействия естественному возобновлению леса и оставленных под естественное зарастивание в государственном лесном фонде*. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1200008095>
- 16 Данченко, А.М., Кабанова, С.А., Муканов, Б.М. (2022). *Лесные культуры: учебное пособие*. М.: Юрайт, 235.

References

- 1 Tokareva, T.G. (2018). *Introdutsenty v gorodskikh zelenykh nasazhdeniyakh g. Volgograda. Sbornik nauchnykh trudov GNBS*, 147, 157-159. [in Russ].
- 2 Sapelin, A.Yu. (2021). Redkiye vidy drevesnykh rasteniy, vstrechayushchiesya v ozelenenii g. Moskvu. *Lesnoy vestnik*, 2, 73-80. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-2-73-80. [in Russ].
- 3 Danilova, N.S., Sabaraykina, S.M. (2018). Vidovoy sostav i ustoychivost' drevesnykh rasteniy v nasazhdeniyakh goroda Yakutsk. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 5, 71-80. [in Russ].
- 4 Iyevskaya, AA, Korsunova TM. (2020). Izucheniye sostoyaniya rastitel'nosti v sisteme ozeleneniya goroda Ulan-Ude. *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2(31), 54-59. DOI 10.17816/snv202109. [in Russ].
- 5 Braginets, L.A. (2017). Invazivnyy potentsial adventivnykh agrofytov dendroflory goroda Kostanaya i yego okrestnostey. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh*, 1(60), 41-49. [in Russ].
- 6 Utshkaliyev, M.D., Akhmetov, R.S. (2013). Kompleksnaya adaptatsionnaya otsenka introdutsentov v Zapadnom Kazakhstane. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva*, 1, 44-47. [in Russ].
- 7 Krekova, Ya.A., Zalesov, S.V. (2019). Istoriya introdutsii drevesnykh rasteniy na territorii Zapadnoy Sibiri i Severnogo Kazakhstana. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh*, 2(69), 4-14. [in Russ].
- 8 Azbaev, B.O., Raximzhanov, A.N., Razhanov, M.R., Suyundikov, Zh.O. (2013). Rasshirenie bioraznoobraziya putem iskusstvennogo lesorazvedeniya v sanitarno-zashhitnoy zone g. Astany. *Razvitie «zelenoy e'konomiki» i soxranenie biologicheskogo raznoobraziya*, 21-25. [in Russ].
- 9 Mustapha, T., Baita, H.U., Danazumi, I.A. (2022). Soil salinity is a serious environmental threat to plant diseases-. *Dutse journal of pure and applied sciences*, 8, 1-8. DOI: 10.4314/dujopas.v8i4b.1.

10 Arvind, R., Nirmalendu, B., Parul S. (2021). Chemistry of Salt-affected Soils. In book: *Salinity Management in India* Publisher: Indian Council Agricultural Research, New Delhi, India, 130-149.

11 Yadav, G., Jagdhani, A., Sawale, D. (2022). Evaluation of salt combinations on the basis of soluble cations and anions in the soil. *Frontiers in Crop Improvement*, 9, 2880-2884.

12 Hailu, B., Mehari, H. (2021). Impacts of soil salinity/sodicity on soil-water relations and plant growth in dry land areas: a review. *Journal of Natural Sciences Research*, 12, 1-10. DOI: 10.7176/JNSR/12-3-01.

13 Rengasamy, P., Lacerda, C., Gheyi, H. (2022). Salinity, Sodicity and Alkalinity Subsoil Constraints for Crop Production, 83-107. DOI:10.1007/978-3-031-00317-2_4.

14 Samec, P., Kucera, A., Tomašova, G. (2022). Soil degradation processes linked to long-term forest-type damage. *Forest degradation under global change*, 22-29. DOI:10.5772/intechopen.106390.

15 IPS «Adilet». (2012). *Pravila provedeniya inventarizatsii lesnykh kul'tur, pitomnikov, ploshchadey s provedennymi merami sodeystviya yestestvennomu vozobnovleniyu lesa i ostavlennykh pod yestestvennoye zarashchivaniye v gosudarstvennom lesnom fonde*. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1200008095>. [in Russ].

16 Danchenko, A.M., Kabanova, S.A., Mukanov, B.M. (2022). *Lesnyye kul'tury: uchebnoye posobiye*. M.: Yurayt, 235. [in Russ].

Астананың жасыл белдеуіне енгізілген түрлерді бейімдеу бойынша ғылыми тәжірибелер

Кабанова С.А., Оспанғалиев А.С., Кабанов А.Н.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Астананың қалалық көгалдандыру және жасыл белдеуіндегі ағаштар мен бұталардың түр құрамы шектеулі. Сондықтан биоәртүрлілікті арттыру үшін аймақтың қиын топырақ-климаттық жағдайларына төзімді жергілікті өсімдіктерді енгізу қажет. Бұл зерттеудің мақсаты Астананың жасыл белдеуіне енгізілген түрлердің қазіргі жағдайын бағалау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысандары 2011 жылы Астананың жасыл белдеуіне ашық тамыр жүйелерімен (АТЖ) және жабық тамыр жүйелерімен (ЖТЖ) отырғызылған қылқан жапырақты және жапырақты енгізілген түрлер болды. Жалпы қабылданған әдіснамаларды қолдана отырып, енгізілген түрлердің тұрақтылығын анықтау үшін орман өсімдіктерін түгендеу әдістері қолданылды.

Нәтижелер. Ең жоғары тіршілік ету көрсеткіштері жаздық еменінде (85,3%) және сібір шыршасында (66,2%) (АТЖ) байқалды. Ең жоғары тіршілік ету көрсеткіштері жабық тамыр жүйелеріндегі шырша тұқымдасының сібір шыршасы (*Picea obovata* Ledeb), тікенекті шырша (*Picea pungens* Engelm.) және энгельман шыршасы (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.) көшеттері үшін байқалды (сәйкесінше 75,4%, 56,9% және 42,5%). Ағаштардың өсу өзгергіштігі орташадан жоғарыға дейін ауытқып, бұл көрсеткіште өсімдік биологиясы мен ауа райы жағдайларына байланысты айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетеді. Кәдімгі еменнің (*Quercus robur* L.) орташа биіктігі 586,2 см, ал сібір балқарағайының (*Picea mariana* (Mill.) Britton,) биіктігі 492,1 см жетті. Шырша тұқымдасының енгізілген түрлерінің ішінде қара шырша мен тікенекті шырша барлық дерлік салық салу көрсеткіштері бойынша көшбасшылықты иеленді. Қазіргі уақытта қара шыршада, сібір шыршасында, Энгельман шыршасында (жабық тамыр жүйелері), сібір балқарағайында және кәдімгі еменде (ашық тамыр жүйелері) гүлдену және жеміс беру байқалады.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, жаздық емені, тікенекті шырша және сібір шыршасы Астананың жасыл белдеуінде одан әрі пайдалану үшін ұсынылады. Бұл ағаштардың тіршілік ету деңгейі жоғары, жағдайы жақсы және аймақтың топырақ-климаттық жағдайларына төзімді. Оңтайлы отырғызу және күтіп ұстау тәжірибесімен жоғары сәндік және өте төзімді қара шырша мен Энгельман шыршасын өсіруге енгізу де ұсынылады.

Кілт сөздер: жасыл белдеу; енгізілген түрлер; көгалдандыру; өсу.

Scientific experience in the adaptation of introduced species in the green belt of Astana

Svetlana A. Kabanova, Askhat S. Ospangaliyev, Andrey N. Kabanov

Abstract

Background and Aim. The species composition of trees and shrubs in Astana's urban landscaping and green belt is limited. Therefore, to increase biodiversity, it is necessary to introduce native plants resistant to the region's challenging soil and climatic conditions. The aim of this study is to assess the current status of introduced species in Astana's green belt.

Materials and Methods. The study subjects were coniferous and deciduous introduced species planted in 2011 with open root systems (ORS) and closed root systems (CRS) in Astana's green belt. Forest plant inventory methods were used to determine the stability of the introduced species, using generally accepted methodologies.

Results. The highest survival rates were demonstrated by Pedunculate oak (85.3%) and Siberian spruce (66.2%) (ORS). The highest survival rates were observed for seedlings of the Spruce genus Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.), prickly spruce (*Picea pungens* Engelm.), and Engelmann spruce (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.) in closed root systems (75.4%, 56.9%, and 42.5%, respectively). Growth variability for the trees ranged from moderate to high, indicating significant differences in this indicator, which depends on plant biology and weather conditions. Common oak (*Quercus robur* L.) reached an average height of 586.2 cm, while Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) reached 492.1 cm. Among introduced species of the Spruce genus, black spruce (*Picea mariana* (Mill.) Britton,) and prickly spruce led in virtually all taxation indicators. Flowering and fruiting are currently observed in black spruce, Siberian spruce, Engelmann spruce (closed root systems), Siberian larch, and common oak (open root systems).

Conclusion. Based on research results, English oak, prickly spruce, and Siberian spruce are recommended for further use in Astana's green belt. These trees have a high survival rate, good condition, and are resilient to the region's soil and climatic conditions. With optimal planting and care practices, black spruce and Engelmann spruce, which are highly ornamental and quite resilient, can also be recommended for cultivation.

Keywords: green belt; introduced species; landscaping; growth.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. - № 1 (129). - Р.-77-89. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

[doi.org/10.51452/eaj.2026.1\(129\).2112](https://doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2112)

УДК 635.64

Исследовательская статья

Создание и характеристика гибридных популяций томата как исходного материала для геномного картирования устойчивости к альтернариозу

Есимсеитова А.К.^{1,2} , Какимжанова А.А.² , Абдрахманова А.Б.² 
Токбергенова Ж.А.³ , Абдуллаева Б.М.³ 

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина
Астана, Казахстан

²Национальный центр биотехнологии, Астана, Казахстан

³Региональный филиал «Кайнар» Казахского научно-исследовательского института картофелеводства и овощеводства, Кайнар, Казахстан

Автор-корреспондент: Есимсеитова А.К.: asel_1388@bk.ru

Соавторы: (1: АК) kakimzhanova1968@mail.ru; (2: АА) aishabdrakhman@mail.ru

(3: ЖТ) zh.tokbergenova@mail.ru; (4: БА) barchinay.65@mail.ru

Получено: 09.01.2026. **Принято:** 06.03.2026 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. Альтернариоз, вызываемый грибами рода *Alternaria*, является одной из наиболее экономически значимых болезней томата и приводит к существенным потерям урожая. Повышение эффективности селекции на устойчивость требует создания гибридного материала и формирования экспериментальных популяций, пригодных для последующего геномного анализа. Целью настоящего исследования – получить гибридные комбинации томата, оценить их фенотипические характеристики и отобрать контрастные по устойчивости растения для дальнейшего полногеномного анализа методом BSA-seq.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2023-2025 гг. в лаборатории биотехнологии и селекции растений Национального центра биотехнологии, а также на полевом стационаре Регионального филиала «Кайнар» Казахского научно-исследовательского института плодовоовощеводства. Объектами исследования являлись четыре сортообразца томата, характеризующиеся контрастным проявлением устойчивости: умеренно восприимчивые – Самаладай и Китай-12×Моя радость; высокорезистентные – Венера×Мечта и Глория×BSS-335. Гибридизацию проводили с использованием родительских форм, различающихся по степени устойчивости.

Результаты. Эффективность скрещивания варьировала в зависимости от комбинации: наиболее результативной оказалась Венера×Мечта ×Самаладай – 60%, тогда как у комбинаций Глория×BSS-335 ×Самаладай и Глория×BSS-335 ×Китай×Моя радость этот показатель составил 10 и 20% соответственно. Фенологические наблюдения показали, что гибриды F₂ характеризовались сокращёнными межфазными периодами «всходы-цветение» и «цветение-созревание» по сравнению с родительскими формами, а наиболее раннеспелой была комбинация Венера×Мечта×Самаладай (105 дней). Гибриды отличались вариабельностью морфологических признаков: высота растений составляла 48,6-55,7 см, что сопоставимо с показателями родительских форм, а диаметр куста у отдельных комбинаций достигал 53,8 см. Облиственность гибридов была ниже (13,8-14,7 листа) по сравнению с родительскими формами (20,3-25,0 листа). По продуктивности выделялась комбинация Глория×BSS-335*Китай×Моя радость, формировавшая 9,6 плода на растение, что превышало показатели родительских линий. Фенотипическая оценка устойчивости к альтернариозу выявила широкую вариабельность в поколении F₂ (0-5 баллов),

что подтверждает полигенный характер наследования признака. Для анализа методом BSA-seq были сформированы устойчивый и восприимчивый пулы для последующего полногеномного секвенирования.

Заключение. Полученные результаты позволили сформировать три гибридные популяции, предназначенные для дальнейшего полногеномного анализа методом BSA-seq. Проведённая работа создаёт основу для идентификации генетических локусов устойчивости к альтернариозу и их последующего использования в селекции томата.

Ключевые слова: *Alternaria*; *Solanum lycopersicum*; альтернариоз; гибридизация; инокуляция; томат; устойчивость.

Введение

Томат (*Solanum lycopersicum* L.), происходящий из андского региона Южной Америки, является второй по масштабам возделываемой овощной культурой в мире [1]. По данным ФАО, мировое производство томатов в 2023 году превысило 190 млн тонн при площади посевов более 5 млн га [2]. Высокий спрос на культуру обусловлен её пищевой ценностью, широким спектром использования и экономической значимостью [3].

В то же время томат характеризуется высокой восприимчивостью к более чем 200 вредителям и патогенам, включая грибные, бактериальные и вирусные болезни [4, 5]. Среди них особую угрозу представляет альтернариоз, вызываемый фитопатогенными грибами рода *Alternaria* [6]. Заболевание относится к числу наиболее распространённых и экономически значимых грибных болезней томата, приводя к существенным потерям урожая как в открытом, так и в защищённом грунте. Поражение листьев, стеблей и плодов сопровождается развитием некрозов, снижением фотосинтетической активности и ухудшением товарных качеств продукции [7, 8].

Традиционные меры защиты, основанные на применении фунгицидов и агротехнических приемов, требуют значительных материальных затрат и не всегда обеспечивают достаточный уровень контроля заболевания [5, 8]. С учётом роста требований к экологичности и безопасности сельскохозяйственного производства создание сортов и гибридов томата с генетически обусловленной устойчивостью к альтернариозу приобретает особую актуальность. Создание такого селекционного материала возможно на основе целенаправленной гибридизации и последующей оценки гибридных потомств по комплексу хозяйственно-ценных признаков и устойчивости.

Исследования по созданию устойчивых к альтернариозу сортов томатов начались более полувека назад и продолжают по сей день. Несмотря на сложную природу заболевания и полигенный характер устойчивости, к настоящему времени создано несколько селекционных линий и сортов с измеримым уровнем резистентности [5].

Гибридизация остаётся одним из ключевых методов получения исходного материала, позволяющим объединять ценные признаки, использовать эффект гетерозиса и расширять генетическую базу культуры [9, 10]. Комбинирование устойчивости и высокой продуктивности требует тщательного подбора родительских форм и оптимизации методики искусственного опыления. Получение гибридов F₁ и формирование популяций последующих поколений обеспечивает возможность как их первичной оценки, так и проведения углублённых генетических исследований, направленных на идентификацию факторов устойчивости [11]. Ограниченный успех традиционной селекции объясняется комплексом факторов: полигенной природой устойчивости, взаимодействием признаков устойчивости с морфологическими и физиологическими характеристиками растений, трудностями поддержания устойчивости в поколениях возвратного скрещивания, а также влиянием других заболеваний, вызывающих дефолиацию во время проведения фенотипического скрининга [5].

В современных исследованиях подчёркивается, что межсортовая гибридизация и использование диких видов рода *Solanum* являются наиболее перспективными подходами для интрогрессии генов устойчивости. Гибридные популяции служат ценным материалом для последующего картирования QTL [12], разработки молекулярных маркеров и проведения геномных исследований, включая BSA-seq и другие методы высокопроизводительного секвенирования [13].

Одним из наиболее эффективных современных подходов к идентификации генетических факторов устойчивости является анализ сегрегирующих популяций методом BSA-Seq (Bulked Segregant Analysis) [14]. Данная технология объединяет классическую схему BSA с высокопроизводительным секвенированием, что позволяет быстро выявлять SNP- и InDel-ассоциации с признаком без необходимости генотипирования всей популяции. Метод включает скрещивание контрастных по фенотипу родительских форм, получение F2 популяции, фенотипирование растений и формирование двух ДНК-пулов из особей с экстремальными значениями признака [15, 16]. Сравнение частот аллелей при повторном секвенировании пулов позволяет выявить геномные регионы, связанные с целевым признаком. В отличие от традиционного QTL-картирования, BSA-Seq требует анализа только крайних фенотипов, что значительно сокращает трудозатраты и стоимость генетического исследования [17, 18].

Целью настоящего исследования являлось получение гибридных комбинаций томата и их фенотипирование на устойчивость к альтернариозу для последующего использования в полногеномном анализе методом BSA-seq.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2023-2025 гг. в лаборатории биотехнологии и селекции растений Национального центра биотехнологии (г. Астана) и на полевом стационаре Регионального филиала «Кайнар» Казахского научно-исследовательского института плодовоовощеводства (Алматинская область), расположенном на северном склоне Заилийского Алатау (1000-1050 м над уровнем моря).

Из 40 генотипов томата (*Solanum lycopersicum* L.), ранее оценённых на устойчивость к альтернариозу [19], для проведения гибридизации были отобраны четыре сортообразца, контрастные по уровню устойчивости и использованные в дальнейшем для формирования популяций и анализа методом BSA-seq (таблица 1). В качестве контрольного варианта использовали восприимчивый сорт Сюрприз.

Таблица 1 – Характеристика родительских сортообразцов томата по устойчивости к альтернариозу

№	Генотип	Устойчивость
1	Самаладай	Умеренно восприимчивый
2	Китай-12×Моя радость	Умеренно восприимчивый
3	Венера×Мечта	Высоко резистентный
4	Глория×BSS-335	Высоко резистентный

Климатические условия предгорной зоны характеризуется резкой континентальностью и неустойчивым увлажнением. Среднегодовое количество осадков за вегетационный период – 290,2 мм; среднегодовое количество температур за вегетационный период – 102,5 °С. Почва опытного стационара темнокаштановая, по механическому составу среднесуглинистая, рыхлая (рН 7,3-7,4). Погодные условия вегетационного периода (апрель-сентябрь) за годы исследования существенно отличались от среднегодовых данных. Основной особенностью метеорологических условий являлось повышение температуры воздуха (на 3-6 °С) и неравномерное распределение атмосферных осадков по годам.

Выращивание растений проводили на опытных полях юго-востока Казахстана в условиях овощного севооборота; предшественником служили многолетние травы. Технология возделывания соответствовала зональным рекомендациям. Предпосевная подготовка включала сортировку, калибровку и протравливание семян. Рассадку выращивали в плёночных тоннельных укрытиях. Высадку в открытый грунт осуществляли в зависимости от погодных условий с 14 мая по 3 июня. Повторность опыта двух- трехкратная, учётная площадь делянки – 10 м². Подкормку проводили аммиачной селитрой (200 кг/га). Для профилактики грибных болезней проводили обработку медьсодержащим препаратом «Гурзат» (250 г/га). Все агротехнические мероприятия осуществляли в соответствии с зональными технологиями выращивания томата.

В течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения по основным фазам роста и развития растений: всходы, цветение, плодоношение и созревание. Одновременно выполняли учет морфологических показателей, включая высоту растения, диаметр куста, количество листьев, число побегов и число плодоносящих побегов, а также общее количество сформировавшихся плодов. При изучении коллекционного и селекционного материала использовали методические указания ВИР по оценке коллекции паслёновых культур [20], методические указания по селекции овощных культур [21] и Методики государственного сортоиспытания [22].

Для проведения гибридизации использовали контрастные по устойчивости к альтернариозу сортообразцы томата. Гибридизацию выполняли вручную в фазе бутонизации. Питомник гибридизации включал материнские и отцовские компоненты. Цветки женской родительской формы кастрировали за 1-2 дня до раскрытия: аккуратно удаляли тычинки пинцетом, не повреждая рыльце пестика. После кастрации цветки изолировали бумажными колпачками. Скрещивания проводили ранним утром (4-5 часов утра) в полевых условиях. Всего для каждой гибридной комбинации проводили не менее 10 опылений. На каждом растении проводили маркировку скрещивания с указанием даты и комбинации родителей. Созревшие плоды F₁ вскрывали, извлечённые семена промывали, сушили и высевали для получения растений поколения F₁. Дальнейшее самоопыление гибридов F₁ приводило к формированию популяций F₂.

Гибридные растения поколений F₂ использовали для фенотипирования по признакам устойчивости к альтернариозу. Фенотипическая оценка степени поражения альтернариозом проводилась индивидуально для каждого растения в теплице. На 14-й и 21-й день после инокуляции проводили оценку по 5-балльной шкале, описанной в работе Pandey et al. (2003), где 0 соответствует отсутствию симптомов, а 5 полному отмиранию листьев [23]. Полученные фенотипические данные использовали для отбора растений и формирования пулов, предназначенных для последующего полногеномного анализа методом BSA-seq.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы MS Excel и библиотеки SciPy (Python) для выполнения дисперсионного анализа (ANOVA). Фенотипическую оценку устойчивости и фенологические наблюдения анализировали с расчётом средних значений и стандартного отклонения, коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса. При анализе эффективности гибридизации рассчитывали 95% доверительные интервалы доли завязавшихся плодов по методу Уилсона (Wilson score interval). Достоверность различий между комбинациями скрещивания оценивали с использованием точного критерия Фишера (Fisher's exact test). Для оценки различий между родительскими формами и гибридами F₁ по морфологическим признакам применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Уровень статистической значимости принимали равным $p < 0,05$. Для характеристики проявления гетерозиса рассчитывали показатели по среднему родителю (МРН) и лучшему родителю (ВРН).

Результаты и обсуждение

Для полногеномного секвенирования методом BSA-seq на устойчивость к альтернариозу в 2023 году провели скрещивания восприимчивых и устойчивых сортообразцов томатов (таблица 2).

Таблица 2 – Эффективность гибридизации по комбинациям скрещиваний томата

№	Комбинация скрещивания	Количество проведенных опылений, шт.	Завязавшиеся плоды, шт.	Эффективность завязывания, %	95% ДИ*	Количество полученных семян F ₁ , шт.
1	♀ Венера×Мечта * ♂ Самаладай	10	6	60	(31,2-83,2) ^a	63
2	♀ Глория×BSS-335 * ♂ Самаладай	10	1	10	(1,8-40,4) ^b	12
3	♀ Глория×BSS-335 * ♂ Китай×Моя радость	10	2	20	(5,7-51,0) ^{ab}	14

Примечание*- ДИ - доверительный интервал, рассчитанный по методу Уилсона (Wilson score interval). Строчными буквами (a, b) отмечены значения, различия между которыми статистически значимы при $p < 0,05$ по точному критерию Фишера

Полученные гибридные комбинации показали различия в эффективности формирования гибридных завязей и семян в зависимости от комбинации родительских форм. Наиболее результативной оказалась комбинация Венера×Мечта*Самаладай, эффективность завязывания в которой составила 60,0% (31,2-83,2%), для которой было получено 63 семян в поколении F₁. Комбинации Глория×BSS-335*Самаладай и Глория×BSS-335*Китай×Моя радость характеризовались более низкой продуктивностью: эффективность завязывания составила 10,0% (1,8-40,4%) и 20,0% (5,7-51,0%) соответственно. Количество полученных семян F₁ в данных комбинациях составило 12 и 14 шт. Проведенный статистический анализ с использованием точного критерия Фишера выявил наличие значимых различий между комбинациями №1 и №2. Между комбинациями №1 и №3, а также №2 и №3 статистически достоверных различий при данном объеме выборки не обнаружено. В 2024 году размножение гибридов F₁ проводили в полевых условиях для получения поколения F₂.

Таким образом, полученные комбинации статистически различались по эффективности гибридизации, что подтверждается расчетом доверительных интервалов. Подобные вариации в завязываемости гибридных плодов и семенной продуктивности описаны в работах по межсортовой и межлинейной гибридизации томата, где подчёркивается влияние генетических и физиологических особенностей родительских форм на успешность опыления и развитие гибридных завязей [24].

Сравнение фенологических наблюдений родительских форм и гибридов в полевых условиях, показало, что гибридные комбинации в целом характеризовались более ранним развитием по сравнению с исходными линиями. Контрольный сорт Сюрприз имел наиболее продолжительный вегетационный период (63 дня до цветения и 123 дня до массового созревания), тогда как другие родительские формы отличались более короткими сроками – 58-62 дня до цветения и 106-112 дней до начала созревания (таблица 3).

Таблица 3 – Продолжительность вегетационного периода родительских образцов и гибридов томата в полевых условиях юго-востока Казахстана

№	Сортообразец	Число суток			
		всходы-цветение	цветение-созревание	всходы-начало созревания	всходы-массовое созревание
Родительские образцы					
1	Сюрприз (контроль)	63	50	113	123
2	Самаладай	58	48	106	113
3	Китай-12×Моя радость	61	49	112	119
4	Венера×Мечта	62	49	112	119
5	Глория×BSS-335	62	49	111	118
Гибриды F ₂					
1	Венера×Мечта*Самаладай	55	39	96	105
2	Глория×BSS335*Самаладай	56	40	98	112
3	Глория×BSS-335* Китай×Моя радость	57	39	98	112

Гибриды демонстрировали более ускоренное развитие. Период «всходы-цветение» у них составлял 55-57 суток, что на 1-3 дня раньше родителей и на 6-8 дней раньше контроля. Продолжительность периода «цветение-созревание» у гибридов была короче (39-40 дней), чем у родительских форм (48-50 дней). Начало созревания у гибридов наступало на 96-98-й день, что на 8-10 дней раньше родителей и на 15-17 дней раньше контроля. Самые короткие сроки фиксировались у комбинации Венера×Мечта*Самаладай.

По данным Н.В. Атрашонок (1962), гетерозис у гибридов томата по скороспелости проявляется преимущественно за счёт сокращения периода от начала цветения до созревания плодов, тогда как сроки наступления цветения также смещаются в сторону более раннего родителя [25].

Таким образом, полученные гибриды отличались повышенной скороспелостью по сравнению с родительскими формами, а наиболее раннеспелой оказалась комбинация Венера×Мечта*Самаладай.

Сравнение морфологических характеристик родительских форм и гибридных растений показало, что полученные гибриды в целом занимают промежуточное положение по ряду признаков (таблица 4). Сорт Сюрприз (контроль) отличался наибольшей высотой (63,5 см) и диаметром куста (59,6 см), тогда как остальные родительские формы были более компактными: их высота составляла 52,0-55,2 см, а диаметр 39,8-45,0 см. Облиственность родительских форм варьировала от 20,3 до 25,0 листьев, при этом контрольный сорт имел максимальные показатели – 32,0 шт. Число побегов и плодоносящих побегов у родителей находилось в диапазонах 2,7-3,7 и 1,7-2,0 шт. соответственно, а общее количество плодов - 4,0-9,7 шт. на растение.

Таблица 4 – Морфологические показатели родительских форм и гибридов томата в полевых условиях юго-востока Казахстана

Сортообразец	Высота растений, см	Диаметр, см	Количество листьев, шт.	Количество побегов, шт.	Количество плодоносящих побегов, шт.	Количество плодов всего, шт.
Родительские образцы и контроль						
Сюрприз (контроль)	63,5±3,3	59,6±2,7	32,0±1,0	5,3±0,6	4,0±0,0	5,0±1,0
Самаладай	54,2±0,8	45,0±4,2	20,7±0,6	3,7±1,2	1,7±1,2	9,7±0,6
Китай-12 ×Моя радость	52,0±2,6	42,0±1,4	20,3±0,6	2,7±0,6	2,0±0,0	4,0±1,0
Венера×Мечта	55,2±1,0	39,8±0,4	25,0±1,0	3,0±1,0	1,7±0,6	4,3±0,6
Глория×BSS-335	53,2±1,0	40,7±0,5	20,3±0,6	2,7±0,6	2,0±1,0	4,0±1,0
Гибриды F ₂						
Венера×Мечта *Самаладай	52,9±5,0	53,8±7,6*	13,8±3,2*	1,8±0,6	1,2±0,4	6,4±1,8*
Глория×BSS-335*Самаладай	55,7±7,1*	42,6±8,8	14,7±2,9*	2,3±0,8	1,0±0,0	5,3±3,0*
Глория×BSS-335* Китай×Моя радость	48,6±5,5	36,6±5,3	14,4±3,1*	1,8±0,8	1,0±0,0	9,6±3,9*

*Примечание: Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение; *- различия между гибридом и родительскими формами статистически значимы при p < 0,05*

Дисперсионный анализ показал, что характер различий между родительскими формами и гибридами зависел от комбинации скрещивания. У гибрида Венера×Мечта*Самаладай статистически значимые различия выявлены по диаметру куста (53,8 см у гибрида против 39,8-45,0 см у родительских форм), количеству листьев (13,8 шт. против 20,3-25,0 шт.) и числу плодов, тогда как по высоте растений (48,6-55,7 см) достоверных различий не установлено (p>0,05). Для комбинации Глория×BSS-335*Самаладай значимые различия отмечены по высоте растений (55,7 см у гибрида), количеству листьев (14,7 шт.) и числу плодов, при отсутствии достоверных различий по остальным признакам (p>0,05). В комбинации Глория×BSS-335*Китай×Моя радость статистически значимыми оказались различия по количеству листьев (14,4 шт.) и числу плодов (9,6 шт. на растение), тогда как по высоте и другим морфологическим показателям различия находились в пределах вариации родительских форм. В целом наиболее устойчивые и статистически подтвержденные различия между гибридами и родителями выявлены по количеству листьев и числу плодов.

Таблица 5 – Показатели гетерозиса у гибридов томата

Гибрид	Высота растений, (МРН/ВРН), %	Диаметр (МРН/ВРН), %	Количество листьев, (МРН/ВРН), %	Количество побегов, (МРН/ВРН), %	Количество плодоносящих побегов, (МРН/ВРН), %	Количество плодов всего, (МРН/ВРН), %
Венера×Мечта*	-3,29/	26,71/	-40,15/	-50,0/	-20,0/	-9,52/
Самаладай	-4,17	19,39	-45,33	-54,55	-20,0	-34,48
Глория×BSS-335*	3,73/	-0,51/	-28,46/	-26,32/	-45,45/	-21,95/
Самаладай	2,77	-5,26	-29,03	-36,36	-50,0	-44,83
Глория×BSS-335*	-7,48/	-11,36/	-29,51/	-37,5/	-50,0/	141,67/
Китай×Моя радость	-8,46	-12,7	-29,51	-37,5	-50,0	141,67

Примечание: МРН - гетерозис по среднему родителю; ВРН - истинный гетерозис по лучшему родителю

Анализ показателей гетерозиса в поколении F_2 выявил его избирательное проявление в зависимости от гибридной комбинации и изучаемого признака (таблица 5). У гибрида Венера×Мечта*Самаладай статистически значимый положительный гетерозис отмечен по диаметру куста (МРН=26,71%; ВРН=19,39%). В комбинации Глория×BSS-335*Самаладай зафиксирован слабый положительный эффект по высоте растений (МРН=3,73%; ВРН=2,77%). Наиболее выраженный гетерозис по элементам продуктивности выявлен у гибрида Глория×BSS-335*Китай×Моя радость, где превышение по числу плодов составило 141,67% как по среднему, так и по лучшему родителю. По остальным изученным признакам у большинства комбинаций наблюдался отрицательный гетерозис (депрессия), что характерно для расщепляющегося поколения F_2 .

Таким образом, по отдельным морфологическим признакам гибриды превосходили родительские формы и демонстрировали проявление гетерозиса, который принято рассматривать, как превышение гибридами среднего показателя между родительскими формами по тому или иному признаку [26]. Гетерозис, как правило, наиболее заметен по признакам, связанным с интенсивностью роста и развития, включая высоту растения, число плодов и величину урожая [26], тогда как по другим морфологическим характеристикам его выраженность может быть менее значительной [27].

Таким образом, после характеристики морфологических признаков гибридов в поколении F_2 следующим шагом было фенотипирование на устойчивость к альтернариозу для полногеномного анализа BSA-seq.

При фенотипировании растений 3-х гибридов томата симптомы альтернариоза проявлялись в виде некротических пятен с характерными концентрическими кольцами на листьях, вплоть до полной дефолиации у наиболее чувствительных генотипов. Родительские линии демонстрировали резко различающуюся реакцию: устойчивые получили балл поражения 0, тогда как восприимчивые – 4. В популяции F_2 степень поражения варьировала в пределах 0-5 баллов, при среднем уровне 2,65-2,79. Распределение признака отличалось слабой асимметрией (коэффициент асимметрии варьировал от -0,378 до 0,111) и умеренно повышенным эксцессом, что свидетельствует о близости распределения к нормальному при незначительном отклонении от симметрии. Значение коэффициента вариации (35,9-39,6%) отражало высокую фенотипическую изменчивость и подтверждало количественный, полигенный характер наследования устойчивости [1, 7]. На основании средних баллов для последующего анализа методом BSA-seq были отобраны по 30 растений с минимальной степенью поражения (устойчивый пул) и 30 растений с максимальной степенью поражения (восприимчивый пул) каждого гибрида (таблица 6). Данные выборки будут использованы для полногеномного анализа по технологии BSA-seq.

Таблица 6 – Фенотипическая изменчивость 3-х гибридов томата на устойчивость к альтернариозу

Гибрид	Популяция F ₂					
	Диапазон	Среднее значение	Стандартное отклонение	Ассиметрия	Экссесс	Коэффициент вариации, %
Венера×Мечта* Самаладай	0-5	2,65	0,96	-0,378	1,337	36,1
Глория×BSS* Китай×Моя радость		2,62	1,04	-0,049	0,633	39,6
Глория ×BSS335* Самаладай		2,79	1,00	0,111	0,750	35,9

Таким образом, результаты работы демонстрируют эффективность гибридизации как инструмента получения селекционно-ценных форм томата и подчёркивают необходимость дальнейшего исследования наследования устойчивости к альтернариозу на основе полученных гибридных популяций.

Заключение

Проведённые исследования позволили получить три гибридные комбинации томата и провести их морфологическую оценку. Гибриды отличались более ранним развитием и выраженной морфологической вариабельностью по сравнению с родительскими формами, что свидетельствует о проявлении гетерозиса по ряду признаков. Фенотипирование популяции F₂ по устойчивости к альтернариозу выявило широкий диапазон изменчивости и подтвердило полигенный характер наследования данного признака с коэффициентом вариации 35,9-39,6%. На основе растений с экстремальными значениями устойчивости сформированы контрастные пулы для последующего анализа методом BSA-seq. Перспективы дальнейших исследований связаны с идентификацией геномных регионов, определяющих устойчивость к альтернариозу, разработкой молекулярных маркеров и их внедрением в селекционные программы по созданию устойчивых сортов томата.

Вклад авторов

АЕ, АА и БА: введение, методология, исследование; АК: общая редакция статьи; ЖТ: аннотация, заключение.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках проекта: AP19679502 «Поиск новых доноров и источников генов устойчивости к альтернариозу томата, и разработка SCAR-маркеров для создания устойчивых сортов» на 2023-2025 годы при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список литературы

- 1 Adhikari, P., Oh, Y., Panthee, D.R. (2017). Current status of early blight resistance in tomato: An update. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), 2019.
- 2 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *FAOSTAT statistical database*.
- 3 Singh, A.K., Singh, M., Rai, V.P., Sinha, B., Kumar, S. (2017). Genetics of resistance to early blight disease in crosses of wild derivatives of tomato. *Scientia Horticulturae*, 219, 70-78.

- 4 Lukyanenko, A.N. (1991). *Disease resistance in tomato. Genetic improvement of tomato*. Springer Berlin, Heidelberg: 99-119.
- 5 Foolad, M.R., Merk, H.L., Ashrafi, H. (2008). Genetics, genomics and breeding of late blight and early blight resistance in tomato. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(2), 75-107.
- 6 Grigolli, JFJ., Fonseca, MEN., Boiteux, L.S., Mizubuti, ESG. (2011). Characterization of tomato accessions for resistance to early blight. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11, 174-180.
- 7 Foolad, M.R., Zhang, L.P., Khan, A.A., Nino-Liu, D., Lin, G. (2002). Identification of QTLs for early blight (*Alternaria solani*) resistance in tomato using backcross populations of a *Lycopersicon esculentum* × *L. hirsutum* cross. *Theoretical and Applied Genetics*, 104(6), 945-958.
- 8 Çalış, O., Topkaya, S. (2011). Genetic analysis of resistance to early blight disease in tomato. *African Journal of Biotechnology*, 10(79), 18071-18077.
- 9 Derbyshire, M.C., et al. (2024). The complex relationship between disease resistance and yield in crops. *Plant Biotechnology Journal*, 22(9), 2612-2623.
- 10 Adygezalov, M.B. (2021). Study of tomato hybridization under the conditions of Absheron in the Republic of Azerbaijan. *Agrarnaya Nauka*, 3, 81-84.
- 11 Hussain, E., et al. (2025). Molecular screening of wild and cultivated tomato germplasm reveals potential materials for multi-locus disease resistance breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1-14.
- 12 Panthee, D.R., Chen, F. (2010). Genomics of fungal disease resistance in tomato. *Current Genomics*, 11(1), 30-39.
- 13 Du, M., et al. (2025). Molecular breeding of tomato: Advances and challenges. *Journal of Integrative Plant Biology*, 67(3), 669-721.
- 14 Michelmore, R.W., Paran, I., Kesseli, R.V. (1991). Identification of markers linked to disease resistance genes by bulked segregant analysis: A rapid method to detect markers in specific genomic regions by using segregating populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(21), 9828-9832. DOI: 10.1073/pnas.88.21.9828.
- 15 Giovannoni, J.J., Wing, R.A., Ganal, M.W., Tanksley, S.D. (1991). Isolation of molecular markers from specific chromosome intervals using DNA pools from existing mapping populations. *Nucleic Acids Research*, 19(23), 6553-6558. DOI:10.1093/nar/19.23.6553.
- 16 Takagi, H., Abe, A., Yoshida, K., Kosugi, S., Natsume, S., Mitsuoka, C., Uemura, A., Utsushi, H., Tamiru, M., Takuno, S., Innan, H., Cano, L.M., Kamoun, S., Terauchi, R. (2013). QTL-seq: Rapid mapping of quantitative trait loci in rice by whole genome resequencing of DNA from two bulked populations. *The Plant Journal*, 74(1), 174-183. DOI:10.1111/tpj.12105.
- 17 Zhang, B., Qi, F., Hu, G., Yang, Y., Zhang, L., Meng, J., Li, X., Zhu, L. (2021). BSA-seq based identification of a major additive plant height QTL with an effect equivalent to that of Semi-dwarf 1 in a large rice F₂ population. *The Crop Journal*, 9(6), 1428-1437. DOI:10.1016/j.cj.2020.11.011.
- 18 Zhang, J., Panthee, D.R. (2020). PyBSASeq: A simple and effective algorithm for bulked segregant analysis with whole-genome sequencing data. *BMC Bioinformatics*, 21(1), 99. DOI:10.1186/s12859-020-3435-8.
- 19 Есимсейтова, А.К., Абдрахманова, А.Б., Абдуллаева, Б.М., Муранец, А.П., Токбергенова, Ж.А., Какимжанова, А.А. (2024). Оценка устойчивости сортов и гибридов томата (*Solanum lycopersicum* L.) казахстанской селекции к альтернариозу. *Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета им. С.Сейфуллина. Сельскохозяйственные науки*, 2(121), 36-47.
- 20 Глущенко, Е.Я., Воронина, М.В., Стрекалова, А.И. (1987). *Методические указания по изучению коллекции пасленовых культур*. ВАСХНИЛ, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т растениеводства им. Н.И. Вавилова. Ленинград: ВИР, 48.
- 21 *Методические указания по селекции сортов и гибридов томата для открытого и защищённого грунта*. (1986). М.: ВАСХНИЛ, 112.
- 22 *Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*. (1982). М: Колос.

23 Pandey, K.K., Pandey, P.K., Kallou, G., Banerjee, M.K. (2003). Resistance to early blight of tomato with respect to various parameters of disease epidemics. *Journal of General Plant Pathology*, 69, 364-371.

24 Bebeli, P.J., Mazzucato, A. (2008). The Solanaceae: A review of recent research on genetic resources and advances in the breeding of tomato, pepper and eggplant. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2, 3-30.

25 Атрашонок И.В., Козлова А.А. (1962). Изучение скороспелости томатов. В сб.: *Генетика и цитология растений*, Минск: 65-80.

26 Fu, D., Xiao, M., Hayward, A., Fu, Y., Liu, G., Jiang, G., Zhang, H. (2014). Utilization of crop heterosis: A review. *Euphytica*, 197(2), 161-173.

27 Скворцова, Р.В. (1997). Особенности проявления гетерозиса у гибридов томата первого поколения по раннеспелости и устойчивости к расам фитофторы. Международный симпозиум: Гетерозис сельскохозяйственных растений. М: 144-147.

References

1 Adhikari, P., Oh, Y., Panthee, DR. (2017). Current status of early blight resistance in tomato: An update. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10), 2019.

2 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *FAOSTAT statistical database*.

3 Singh, A.K., Singh, M., Rai, V.P., Sinha, B., Kumar, S. (2017). Genetics of resistance to early blight disease in crosses of wild derivatives of tomato. *Scientia Horticulturae*, 219, 70-78.

4 Lukyanenko, A.N. (1991). *Disease resistance in tomato. Genetic improvement of tomato*. Springer Berlin Heidelberg, 99-119.

5 Foolad, M.R., Merk, H.L., Ashrafi, H. (2008). Genetics, genomics and breeding of late blight and early blight resistance in tomato. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(2), 75-107.

6 Grigolli, JFJ., Fonseca, MEN., Boiteux, L.S., Mizubuti, ESG. (2011). Characterization of tomato accessions for resistance to early blight. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11, 174-180.

7 Foolad, M.R., Zhang, L.P., Khan, A.A., Nino-Liu, D., Lin, G. (2002). Identification of QTLs for early blight (*Alternaria solani*) resistance in tomato using backcross populations of a *Lycopersicon esculentum* × *L. hirsutum* cross. *Theoretical and Applied Genetics*, 104(6), 945-958.

8 Çalış, O., Topkaya, S. (2011). Genetic analysis of resistance to early blight disease in tomato. *African Journal of Biotechnology*, 10(79), 18071-18077.

9 Derbyshire, M.C., et al. (2024). The complex relationship between disease resistance and yield in crops. *Plant Biotechnology Journal*, 22(9), 2612-2623.

10 Adygezalov, M.B. (2021). Study of tomato hybridization under the conditions of Absheron in the Republic of Azerbaijan. *Agrarnaya Nauka*, 3, 81-84.

11 Hussain, E., et al. (2025). Molecular screening of wild and cultivated tomato germplasm reveals potential materials for multi-locus disease resistance breeding. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1-14.

12 Panthee, D.R., Chen, F. (2010). Genomics of fungal disease resistance in tomato. *Current Genomics*, 11(1), 30-39.

13 Du, M., et al. (2025). Molecular breeding of tomato: Advances and challenges. *Journal of Integrative Plant Biology*, 67(3), 669-721.

14 Michelmore, R.W., Paran, I., Kesseli, R.V. (1991). Identification of markers linked to disease resistance genes by bulked segregant analysis: A rapid method to detect markers in specific genomic regions by using segregating populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 88(21), 9828-9832. DOI:10.1073/pnas.88.21.9828.

15 Giovannoni, J.J., Wing, R.A., Ganai, M.W., Tanksley, S.D. (1991). Isolation of molecular markers from specific chromosome intervals using DNA pools from existing mapping populations. *Nucleic Acids Research*, 19(23), 6553-6558. DOI:10.1093/nar/19.23.6553.

16 Takagi, H., Abe, A., Yoshida, K., Kosugi, S., Natsume, S., Mitsuoka, C., Uemura, A., Utsushi, H., Tamiru, M., Takuno, S., Innan, H., Cano, L.M., Kamoun, S., Terauchi, R. (2013). QTL-seq: Rapid mapping of quantitative trait loci in rice by whole genome resequencing of DNA from two bulked populations. *The Plant Journal*, 74(1), 174-183. DOI:10.1111/tpj.12105.

17 Zhang, B., Qi, F., Hu, G., Yang, Y., Zhang, L., Meng, J., Li, X., Zhu, L. (2021). BSA-seq based identification of a major additive plant height QTL with an effect equivalent to that of Semi-dwarf 1 in a large rice F₂ population. *The Crop Journal*, 9(6), 1428-1437. DOI:10.1016/j.cj.2020.11.011.

18 Zhang, J., Panthee, D.R. (2020). PyBSASeq: A simple and effective algorithm for bulked segregant analysis with whole-genome sequencing data. *BMC Bioinformatics*, 21(1), 99. DOI:10.1186/s12859-020-3435-8.

19 Yessimseitova, A.K., Abdrahmanova, A.B., Abdullaeva, B.M., Muranets, A.P., Tokbergenova, Zh.A., Kakimzhanova, A.A. (2024). Ocenka ustoichivosti sortov i gibridov tomata (*Solanum lycopersicum* L.) kazhstanskoi selekcii k al'ternariuzu. *Vestnik nauki Kazhskogo agrotekhnicheskogo issledovatel'skogo universiteta im. S. Seifullina. Sel'skohozyaistvennyye nauki*, 2(121), 36-47. [in Russ].

20 Glushchenko, E.Ya., Voronina, M.V., Strekalova, A.I. (1987). *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu kollekcii paslenovykh kul'tur*. VASHNIL, Vsesoyuz. nauch.-issled. in-t rasteniyevodstva im. N.I. Vavilova. Leningrad: VIR, 48. [in Russ].

21 *Metodicheskie ukazaniya po selekcii sortov i gibridov tomata dlya otkrytogo izashchishchyonnogo grunta*. (1986). M.: VASHNIL, 112. [in Russ].

22 *Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyaistvennykh kul'tur*. (1982). M: Kolos. [in Russ].

23 Pandey, K.K., Pandey, P.K., Kalloo, G., Banerjee, M.K. (2003). Resistance to early blight of tomato with respect to various parameters of disease epidemics. *Journal of General Plant Pathology*, 69, 364-371.

24 Bebeli, P.J., Mazzucato, A. (2008). The Solanaceae: A review of recent research on genetic resources and advances in the breeding of tomato, pepper and eggplant. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2, 3-30.

25 Atrashonok, I.V., Kozlova, A.A. (1962). Izuchenie skorospelosti tomatov. *Genetika i tsitologiya rasteniy*, Minsk: 65-80.

26 Fu, D., Xiao, M., Hayward, A., Fu, Y., Liu, G., Jiang, G., Zhang, H. (2014). Utilization of crop heterosis: A review. *Euphytica*, 197(2), 161-173.

27 Skvortsova, R.V. (1997). *Osobennosti proyavleniya geterozisa u gibridov tomata pervogo pokoleniya po rannospelosti i ustoychivosti k rasam fitofory*. *Mezhdunarodnyy simpozium: Geterozis sel'skokhozyaistvennykh rasteniy*, Moscow: 144-147.

Альтернариозға төзімділікті геномдық карталау үшін бастапқы материал ретінде қызанақтың гибрид популяцияларын құру және сипаттау

Есимсеитова А.К., Какимжанова А.А., Абдрахманова А.Б.
Токбергенова Ж.А., Абдуллаева Б.М.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. *Alternaria* туысына жататын саңырауқұлақтар қоздыратын альтернариоз қызанақтың ең экономикалық маңызды ауруларының бірі болып табылады және өнімнің едәуір төмендеуіне әкеледі. Төзімділікке селекцияны тиімді жүргізу үшін гибридтік материал қалыптастыру және кейінгі геномдық талдауға жарамды эксперименттік популяциялар құру қажет. Зерттеудің мақсаты – қызанақтың гибридтік комбинацияларын алу, олардың фенотиптік көрсеткіштерін бағалау және BSA-seq әдісімен толық геномдық талдауға арналған төзімділігі бойынша контрастты өсімдіктерді іріктеу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер 2023-2025 жылдары Ұлттық биотехнология орталығының өсімдіктер биотехнологиясы және селекциясы зертханасында және «Қайнар»

аймақтық филиалы (Қазақстан жеміс-жидек және көкөніс шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты) далалық стационарында жүргізілді. Зерттеу нысандары ретінде төзімділігі бойынша контрастты төрт қызанақ сортоүлгісі пайдаланылды: орташа сезімтал - Самаладай, Китай-12×Моя радость және жоғары төзімді - Венера×Мечта, Глория×BSS-335. Гибридтеу төзімділігі әртүрлі ата-аналық формаларды пайдалану арқылы жүргізілді.

Нәтижелер. Будандастыру тиімділігі комбинацияға байланысты өзгерді: ең нәтижелі комбинация Венера×Мечта*Самаладай болды (60%), ал Глория×BSS-335*Самаладай және Глория×BSS-335*Китай×Моя радость комбинацияларында көрсеткіш тиісінше 10% және 20% құрады. Фенологиялық бақылаулар F₂ гибридтерінің «өніп шығу-гүлдеу» және «гүлдеу-пісу» кезеңдерінің ата-аналық линияларға қарағанда қысқарғанын көрсетті; ең ерте пісетін комбинация Венера×Мечта*Самаладай болды (105 күн).

Гибридтер морфологиялық белгілерінің өзгергіштігімен ерекшеленді: өсімдіктердің биіктігі 48,6-55,7 см (ата-аналарға ұқсас), ал бұта диаметрі кейбір комбинацияларда 53,8 см жетті. Гибридтердің жапырақ саны аз болды (13,8-14,7), ал ата-аналық формаларда 20,3-25,0 болды. Өнімділік бойынша ең жоғары көрсеткіш Глория×BSS-335*Китай×Моя радость комбинациясында байқалды – бір өсімдікке 9,6 жеміс, бұл ата-аналардан жоғары. Альтернариозға төзімділікті фенотиптік бағалау F₂ популяциясында кең вариабелділікті (0-5 балл) анықтап, белгінің полигенді табиғатын растады. BSA-seq талдауына арналған төзімді және сезімтал пулдар жасалды.

Қорытынды. Алынған нәтижелер BSA-seq әдісімен толық геномдық талдауға арналған үш гибридтік популяцияны қалыптастыруға мүмкіндік берді. Бұл зерттеу альтернариозға төзімділікке жауап беретін генетикалық локустарды анықтаудың және оларды қызанақ селекциясына енгізудің негізін қалайды.

Кілт сөздер: *Alternaria*; *Solanum lycopersicum*; альтернариоз; гибридтеу; инокуляция; қызанақ; төзімділік.

Creation and characterization of tomato hybrid populations as source material for genomic mapping of resistance to early blight

Assel K. Yessimseitova, Almagul A. Kakimzhanova, Aisha B. Abdrakhmanova
Zhursinkul A. Tokbergenova, Barchinay M. Abdullaeva

Abstract

Background and Aim. Early blight, caused by fungi of the genus *Alternaria*, is one of the most economically significant diseases of tomato and leads to substantial yield losses. Improving the efficiency of breeding for resistance requires the creation of hybrid material and the formation of experimental populations suitable for subsequent genomic analysis. The aim of this study was to obtain tomato hybrid combinations, evaluate their phenotypic traits, and select plants contrasting in resistance for further whole-genome analysis using the BSA-seq method.

Materials and Methods. The research was conducted in 2023-2025 at the Laboratory of Plant Biotechnology and Breeding of the National Center for Biotechnology and at the field station of the Regional Branch "Kainar" of the Kazakh Research Institute of Fruit and Vegetable Growing. The study involved four tomato genotypes characterized by contrasting levels of resistance: moderately susceptible - Samaladai, Kitai-12×Moya radost'; and highly resistant - Venera×Mechta, Gloriya×BSS-335. Hybridization was performed using parental forms differing in resistance.

Results. Cross efficiency varied among combinations: the most productive was Venera×Mechta*Samaladai (60%), while Gloriya×BSS-335*Samaladai and Gloriya×BSS-335*Kitai-12×Moya radost' showed 10% and 20%, respectively. Phenological observations showed that F₂ hybrids exhibited reduced "emergence-flowering" and "flowering-ripening" periods compared to parental forms, with Venera×Mechta*Samaladai being the earliest maturing (105 days). The hybrids showed variability in morphological traits: plant height ranged from 48.6 to 55.7 cm (comparable to parents), and canopy diameter reached up to 53.8 cm in some combinations. Leaf number in hybrids was lower (13.8-14.7)

compared with parental forms (20.3-25.0). In terms of productivity, the combination Gloriya×BSS-335*Kitai-12×Moya radost' was the most notable, forming 9.6 fruits per plant and exceeding the parental genotypes. Phenotypic assessment of early blight resistance revealed wide variability in F₂ (0-5 points), confirming the polygenic nature of inheritance. Resistant and susceptible F₂ bulks were formed for subsequent whole-genome sequencing using the BSA-seq approach.

Conclusion. The results obtained enabled the formation of three hybrid populations intended for further whole-genome analysis using BSA-seq. The study provides a foundation for identifying genetic loci associated with early blight resistance and for their future application in tomato breeding.

Keywords: *Alternaria*; *Solanum lycopersicum*; early blight; hybridization; inoculation; tomato; resistance.




Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-90-101. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2121

ӘОЖ 636.2.082 (043.3)

Зерттеу мақаласы

Қалмақ тұқымы бұқашықтарының әртүрлі ұлпаларында анықталған полиморфты гендердің мРНҚ экспрессиясы және корреляциялық байланысы

Қажғалиев Н.Ж.¹ , Маханбетова А.Б.¹ , Нұргүлсім Қ.¹ , Габбасов М.Б.¹ 
Жумагазиева С.М.¹ , Аманғалиев Т.Г.² 

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті
Астана, Қазақстан

²Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

Автор-корреспондент: Маханбетова А.Б.: aikabek80@mail.ru

Бірлескен авторлар: (1: НК) kazhgaliev.n@mail.ru; (2: ҚН) kacter-83@mail.ru
(3: МГ) miras_93_23@mail.ru; (4: СЖ) sanya270181@mail.ru; (5: ТА) tlegenag@mail.ru

Қабылданған күні: 15.01.2026 **Қабылданды:** 17.02.2026 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Мақалада келтірілген зерттеу жұмыстары Жамбыл облысындағы «Агрофирма Туркпен» ЖШС-де өсірілетін қалмақ тұқымы бұқашықтарының әртүрлі ұлпаларындағы полиморфты гендердің мРНҚ экспрессиясы мен корреляциялық байланысын зерттеуге бағытталған. Зерттеудің мақсаты — қалмақ тұқымы бұқашықтарының әртүрлі ұлпаларында ELOVL6 және CRTS2 гендерінің экспрессия заңдылықтарын талдау, бірнуклеотидті полиморфизмдерді анықтау және олардың дене өлшемдері көрсеткіштерімен корреляциялық байланысын бағалау болып табылады. Алынған зерттеу нәтижелері етті ірі қара малын селекциялауда молекулалық-генетикалық тәсілдерді қолдану үшін ғылыми негіз бола алады.

Материалдар мен әдістер. Ғылыми-зерттеу жұмыстары 2024-2025 жылдары жүргізілді. Зерттеу нысаны ретінде 12-18 айлық қалмақ тұқымды бұқашықтар алынды, ал клиникалық тұрғыдан сау 18 айлық 3 бас малдан 13 түрлі ұлпа үлгілері жиналды. Ұлпалардан жалпы РНҚ бөлініп алынып, қДНҚ синтезі жүргізілді. ELOVL6 және CRTS2 гендерінің экспрессия деңгейі real-time qPCR әдісімен анықталды.

Нәтижелер. Зерттеу нәтижелері қалмақ тұқымды ірі қара малының әртүрлі ұлпаларында ELOVL6 және CRTS2 гендерінің мРНҚ экспрессиясы айқын ұлпаға тәуелді заңдылықтарға ие екенін көрсетті. CRTS2 гені негізінен энергетикалық метаболизмге белсенді қатысатын жүрек пен бауыр ұлпаларында жоғары экспрессияланса, ELOVL6 гені липидтік алмасуға қатысатын көкбауыр мен ішек ұлпаларында жоғары транскрипциялық белсенділік көрсетті.

Қорытынды. Алынған деректер бұл гендердің май және энергия алмасуын реттеудегі молекулалық рөлін нақтылай отырып, оларды ет өнімділігімен байланысты перспективалы кандидат-гендер ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері ірі қара малды селекциялауда молекулалық-генетикалық тәсілдерді қолдануға ғылыми негіз бола алады.

Кілт сөздер: бұқашықтар; корреляциялық байланыс; қалмақ тұқымы; мРНҚ экспрессиясы; ұлпа; полиморфты гендер.

Кіріспе

Қазіргі таңда мал шаруашылығында өнімділігі жоғары, бейімделгіш және сапалы ет беретін ірі қара тұқымдарын жетілдіру өзекті ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Бұл міндетті шешуде жануарлардың өнімділік қасиеттерінің генетикалық негіздерін, соның ішінде май алмасуы мен энергия метаболизміне қатысатын негізгі гендердің құрылымдық және

функционалдық ерекшеліктерін зерттеу маңызды рөл атқарады. Осы тұрғыдан алғанда, етті ірі қара мал тұқымдарында өнімділік көрсеткіштерімен байланысты кандидат-гендерді анықтау және олардың экспрессия деңгейін бағалау селекциялық жұмыстың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Жергілікті тұқымдардың ішінде қалмақ тұқымды ірі қара малы мықты конституциясымен, генетикалық тұрақтылығымен және қолайсыз табиғи-климаттық жағдайларға жоғары бейімделгіштігімен ерекшеленетін, Қазақстанда кең таралған етті тұқым ретінде белгілі. Аталған тұқымның өнімділік әлеуетін молекулалық-генетикалық деңгейде зерттеу, әсіресе май ұлпасының жиналуы мен энергия алмасуын реттейтін гендердің өзгергіштігін талдау, қазіргі селекция талаптарына сай келетін жаңа ғылыми деректер алуға негіз болады [1, 2].

Қазақстандағы асыл тұқымды қалмақ малына жүргізілген зерттеулер бойынша бұзаулардың туу кезіндегі орташа тірі салмағы 22-26 кг құрап, алты айлық жасында 165-175 кг жетеді. Өсудің алғашқы жылында тәуліктік орташа салмақ қосуы 0,65-0,75 кг дейін жетіп, бұл тұқымның кеш жетілгіштігін көрсетеді. Дегенмен, қалмақ тұқымы ірі қара малының төзімділігі мен бейімделгіштігіне қарамастан, оның экзотикалық коммерциялық етті тұқымдармен салыстырғандағы экономикалық бәсекеге қабілеттілігі бұлшықет ішіндегі майдың (мәрмәрліктің) төмен деңгейі және теріасты майының жеткіліксіз жиналуы сияқты кемшіліктермен шектеледі. Аталған ерекшеліктер ет сапасына және тұтынушылардың сұранысына тікелей әсер етеді [3, 4].

Сонымен қатар, қалмақ тұқымды ірі қара малының геномдық сипаттамасы әлі де жеткіліксіз зерттелген, ал оның өсуі мен ұша көрсеткіштерінің генетикалық негізі туралы мәліметтер шектеулі. Осыған байланысты бұл тұқымды зерттеу оны сақтау және генетикалық тұрғыдан жетілдіру стратегияларын әзірлеу үшін маңызды ғылыми деректер береді.

Генетикалық зерттеулер тағамдық құндылығы мен сапалық көрсеткіштері жақсартылған ет өндіретін ірі қара мал тұқымдарын дамытуда маңызды рөл атқарады [5]. Осы тұрғыдан алғанда, маркерлік-ассоциациялық селекция әдісі тиімді құрал болып табылады, өйткені ол қолайлы генетикалық маркерлерді ерте кезеңде анықтауға және оларды селекцияда қолдануға мүмкіндік береді, нәтижесінде уақыт пен материалдық ресурстарды үнемдеуге жағдай жасайды [6].

Генетикалық өзгергіштіктің әртүрлі түрінің ішінде бірнуклеотидті полиморфизмдер (SNP) ең кең таралған болып табылады және мал шаруашылығында маңызды маркерлерге айналды. Өсу қарқыны, май жиналуы және ет сапасы сияқты негізгі белгілермен байланысты SNP-терді зерттеу тиімді селекциялық бағдарламаларды әзірлеуге мүмкіндік береді [7]. Қолайлы аллельдерді анықтау қалаулы белгілердің күшеюіне ықпал етіп, ет өндірісінің тиімділігін және соңғы өнімнің сапасын арттырады. Соңғы жылдары әртүрлі ірі қара мал тұқымдарында экономикалық тұрғыдан маңызды белгілермен байланысты көптеген SNP-тер анықталды [3, 8, 9]. Мысалы, калпастатин (CAST) геніндегі полиморфизмдер Nellore және Angus×Nellore будандарында еттің жұмсақтығымен айтарлықтай байланысты екені көрсетілген [10]. Сонымен қатар, STAT5A геніндегі көшірме санының вариациялары (CNV) Қытай ірі қара малында өсу белгілеріне әсер ететіні анықталған [3, 11].

ELOVL май қышқылдарын ұзартатын 6-ферментті кодтайтын ELOVL6 гені және CREB арқылы реттелетін транскрипциялық коактиватор 2 (CRTC2) гені ірі қара малда ет өнімділігіне бағытталған маркерлік селекция зерттеулері үшін аса маңызды болып табылады, себебі олар өсу, май жиналуы және ет сапасына тікелей әсер етеді. ELOVL6 геніндегі SNP-тердің еттегі май қышқылдарының құрамына әсер етіп, мәрмәрлік, майдың жиналуы және жалпы ет сапасы сияқты көрсеткіштермен байланысты екені көрсетілген [3, 12]. Бұл ген ұзын тізбекті май қышқылдарының синтезіне қатысып, липидтік алмасуда маңызды рөл атқарады және әсіресе моноқанықпаған май қышқылдарының түзілуінде ерекше маңызға ие [3, 13].

CREB арқылы реттелетін транскрипциялық коактиваторлар (CRTC) гендер тобына CRTC1, CRTC2 және CRTC3 (TORC1, TORC2 және TORC3) кіреді. TORC2 гені адипогенез, липогенез, липидтердің этерификациясы және липолиздің тежелуі процестерінде, сондай-ақ сиыр адипоциттеріндегі реттеуші қызметтерде маңызды рөл атқарады [14]. Бұл ген метаболизмге қатысатын гендердің экспрессиясын реттейтін транскрипциялық факторлар үшін коактиватор ретінде қызмет етіп, семіздік процестерімен де байланысты [3, 15]. Алдыңғы зерттеулерде TORC1 генінің g.80G>T және g.93A>T SNP-тері Qinchuan тұқымды ірі қара малында дене өлшемдерінің жоғары көрсеткіштерімен ассоциацияланғаны анықталған [3, 16]. Сонымен қатар,

CRTC2 геніндегі SNP-тер ірі қара малда тірі салмақтың өсуі, азықты тиімді пайдалану және май жиналу белгілеріне әсер ететіні көрсетілген Khan және т.б. [17] TORC2 промотор аймағында үш жаңа SNP-ті (g.16534694G>A, g.16535011C>T және g.16535044A>T) анықтап, олардың Qinchuan тұқымды ірі қара малында дене өлшемдері мен ұша сапасының жоғары көрсеткіштерімен байланысты екенін көрсетті. Бұл деректер CRTC2 генін ірі қара малда ет сапасы мен өнімділігін арттыруға бағытталған маңызды зерттеу нысаны ретінде қарастыруға мүмкіндік береді [3, 18].

Өсу белгілеріне әсер ететін генетикалық маркерлерді анықтау ет сапасын оңтайландыруға, өсу көрсеткіштерін жақсартуға және сиыр етін өндірудің жалпы тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді [3, 19, 20].

Осыған байланысты, зерттеудің мақсаты – қалмақ тұқымды ірі қара малының әртүрлі ұлпаларында ELOVL6 және CRTC2 гендерінің экспрессия заңдылықтарын талдау, бірнуклеотидті полиморфизмдерді анықтау және олардың дене өлшемдері көрсеткіштерімен байланысын бағалау болып табылады.

Алынған нәтижелер етті ірі қара малды селекциялауда молекулалық-генетикалық тәсілдерді қолдану үшін ғылыми негіз бола алады.

Материалдар мен әдістер

Этикалық бекіту

Жануарларға қатысты барлық тәжірибелік процедуралар этикалық стандарттарға сәйкес жүргізілді және С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеулер университетінің жергілікті этика комитетімен қаралып, рұқсат алынды және бекітілді (№1 хаттама, 2024 жылғы 16 қазан).

Зерттеу жұмыстары 2024-2025 жылдары қалмақ тұқымы малын өсіріп жатқан Жамбыл облысы «Агрофирма Туркпен» ЖШС жүргізілді. Зерттеу нысаны ретінде қалмақ тұқымының 12-18 айлық жастағы бұқашықтары алынды. Зерттеу барысында «Агрофирма Туркпен» ЖШС мал сою аландарында клиникалық тұрғыдан сау, жасы 18 айлық қалмақ тұқымының 3 бас бұқашықтары сойылып, зертеуге ұлпа үлгілері алынды. Зерттеу үшін барлығы 13 түрлі ұлпа жиналды: көкбауыр, жүрек, бауыр, висцералды май, тоқ ішек, оң жақ бүйрек, аш ішек, он екі елі ішек, оң жақ өкпе, теріасты майы, тері, арқа бұлшықеті және сол жақ жыныс безі.

Барлық ұлпа үлгілері стерильді жағдайда өңделіп, криопробиркаларға салынып, сұйық азотта мұздатылды және С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің ауыл шаруашылық биотехнология зертханасына жеткізілді.

Ұлпа үлгілерінен жалпы РНҚ бөліп алу және қДНҚ-ға кері транскрипциялау

Ұлпалардан жалпы РНҚ RecoverAll™ Total Nucleic Acid Isolation Kit for FFPE реагенттер жинағының көмегімен бөлініп алынды. РНҚ-ны қДНҚ-ға кері транскрипциялау RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit реагенттер жинағын пайдалану арқылы жүргізілді. Барлық процедуралар өндіруші ұсынған хаттамаларға сәйкес орындалды [1, 3].

Ген экспрессиясын qRT-PCR әдісімен анықтау

CRTC2 және ELOVL6 гендерінің мРНҚ тізбектері (GenBank қолжетімділік нөмірлері: NM_001076250.1 және XM_015471503.3), сондай-ақ эндогендік бақылау ретінде β -actin гені (NM_173979.3) негізінде Primer-BLAST бағдарламасын қолдану арқылы qPCR үшін праймерлер жасалды. Праймерлердің толық нуклеотидтік тізбектері 1-кестеде келтірілген [3].

1-кесте – Real-time qPCR үшін әзірленген праймерлер тізбегі туралы ақпарат

Праймер	Тізбек (5'-3')	Фрагмент өлшемі (bp)	Tm, °C
β -actin-F	CATCGGCAATGAGCGGTTC	174	60
β -actin-R	CCGTGTTGGCGTAGAGGTC		
CRTC2-F	GAAGAATGGTGTCCCCGCTT	163	58
CRTC2-R	AGTGCAGATGGTAGTCGAAACA		
ELOVL6-F	TAGCACAGCCTCGGTCTAGT	114	57.2
ELOVL6-R	GGAGCTGCCCTTCAAGAGT		

Флуоресцентті qPCR жүргізу үшін PowerUp™ SYBR™ Green Master Mix реагенттер жинағы пайдаланылды. ПЦР-реакциялық қоспаның құрамы 2-кестеде, ал реакция шарттары 3-кестеде көрсетілген. Реакциялар QuantStudio 7 Flex real-time PCR құрылғысында орындалды [3].

2-кесте – Real-time ПЦР реакциясының құрамы

№	Реагент	Көлемі
1	PowerUp™ SYBR™ Green Master Mix (2X)	5 µL
2	Forward Primer (10 µM)	1 µL
3	Reverse Primer (10 µM)	1 µL
4	Nuclease-free Water	3 µL
5	Жалпы көлем	10 µL

3-кесте – Real-time ПЦР реакциясының шарттары

№	Температура, °C	Уақыты	Цикл саны
1	50 °C	2 мин	40
2	95 °C	2 мин	
3	95 °C	15 сек	
4	60 °C	1 мин	

Флуоресцентті qPCR реакциялары PowerUp™ SYBR™ Green Master Mix реагенттер жинағы көмегімен QuantStudio 7 Flex real-time PCR құрылғысында жүргізілді. Экспрессия деңгейлері салыстырмалы әдіспен бағаланды [3].



1-сурет – Зерттеу үшін ұшадан 13 түрлі ұлпа жинау

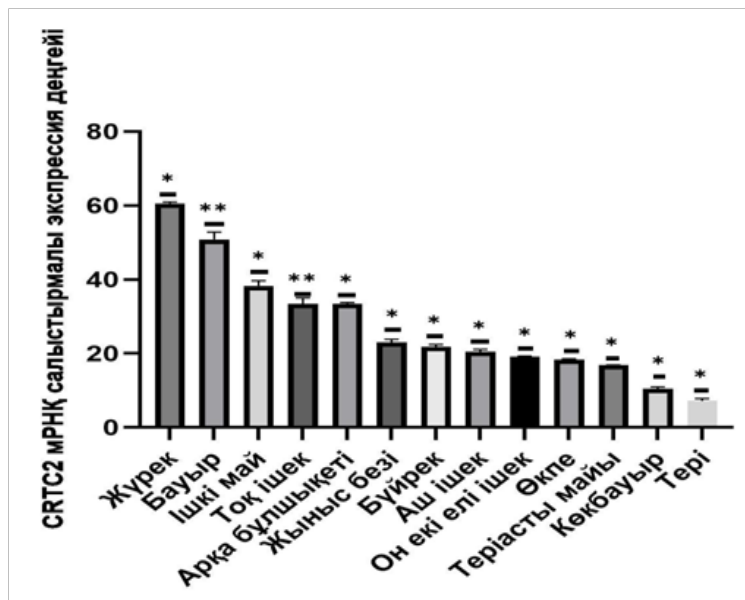
Статистикалық өңдеу GraphPad Prism 10 бағдарламасын пайдалана отырып жүргізіліп, нәтижелер графиктер түрінде ұсынылды [3].

Нәтижелер және талқылау

Ірі қара малдың өнімділік қасиеттері мен физиологиялық ерекшеліктері генетикалық және молекулалық факторлармен тығыз байланысты. Соның ішінде энергия және липидтік алмасуға қатысатын гендердің экспрессия ерекшеліктерін зерттеу мал шаруашылығында селекциялық процесті ғылыми негізде жетілдіруге мүмкіндік береді. Әртүрлі ұлпалардағы ген экспрессиясының деңгейі олардың функционалдық рөлін сипаттайды және организмдегі метаболизмдік процестерді түсіндіруде маңызды болып табылады.

Осы тұрғыдан алғанда, энергия гомеостазы мен май алмасуын реттеуге қатысатын CRT2 және ELOVL6 гендерінің ұлпалық экспрессия заңдылықтарын зерттеу қалмақ тұқымды ірі қара малының физиологиялық ерекшеліктерін молекулалық деңгейде бағалауға мүмкіндік береді [3]. Қалмақ тұқымы ірі қара малының әртүрлі ұлпаларында CRT2 және ELOVL6 гендерінің мРНҚ

экспрессия заңдылықтарын анықтау мақсатында олардың ұлпаға тән экспрессия профилі мен ықтимал биологиялық рөлі зерттелді. CRTC2 гені ген экспрессиясын реттеуге қатысатын маңызды молекула болып табылады және энергетикалық метаболизм мен глюкоза гомеостазында жетекші рөл атқарады. Яғни, CRTC2 гені ірі қара малда ұлпаға тән экспрессия сипаттамасын көрсетеді. CRTC2 генінің мРНҚ экспрессиясының салыстырмалы деңгейі 2-суретте көрсетілген.



2-сурет – Қалмақ тұқымды бұқашық етінің әртүрлі ұлпаларындағы CRTC2 генінің экспрессиясы

Қалмақ тұқымы бұқашықтарының әртүрлі ұлпаларындағы CRTC2 генінің мРНҚ экспрессия деңгейі айқын ұлпаға тәуелді сипатта болды (2-сурет). Алынған нәтижелерге сәйкес CRTC2 генінің ең жоғары экспрессия деңгейі жүрек ұлпасында анықталды және шамамен 60% құрады ($p < 0,05$). Бұл жүрек ұлпасының жоғары энергетикалық қажеттілігімен және үздіксіз метаболизмдік белсенділігімен байланысты болуы мүмкін [3].

Бауыр ұлпасында CRTC2 генінің жоғары экспрессия деңгейі тіркелді ($p < 0,01$), бұл геннің глюкоза және энергия алмасуын реттеудегі маңызын көрсетеді. Висцералды май ұлпасында салыстырмалы түрде жоғары экспрессия деңгейі байқалды ($p < 0,05$).

Тоқ ішек, арқа бұлшықеті, сол жақ жыныс безі және оң жақ бүйрек ұлпаларында CRTC2 генінің орташа экспрессия деңгейі тіркелді ($p < 0,01$; $p < 0,05$). Ал аш ішек, он екі елі ішек, оң жақ өкпе, теріасты майы, көкбауыр және тері ұлпаларында CRTC2 генінің экспрессиясы төмен деңгейде байқалды ($p < 0,05$).

Жүрек пен бауыр ұлпаларында байқалған CRTC2 генінің жоғары транскрипциялық белсенділігі бұл геннің энергия алмасуы мен глюкоза метаболизмін реттеудегі ықтимал рөлін көрсетеді. Ал тері мен көкбауырдағы төмен экспрессия CRTC2 генінің бұл ұлпалардағы функционалдық маңызының шектеулі екенін аңғартады.

Жалпы алғанда, CRTC2 гені қалмақ тұқымды ірі қара малда айқын ұлпаға тән экспрессия сипаттамасын көрсетті. Геннің ең жоғары транскрипциялық белсенділігі метаболизмдік тұрғыдан белсенді ұлпаларда байқалды, ал құрылымдық немесе қорғаныштық қызмет атқаратын ұлпаларда оның экспрессиясы төмен деңгейде болды.

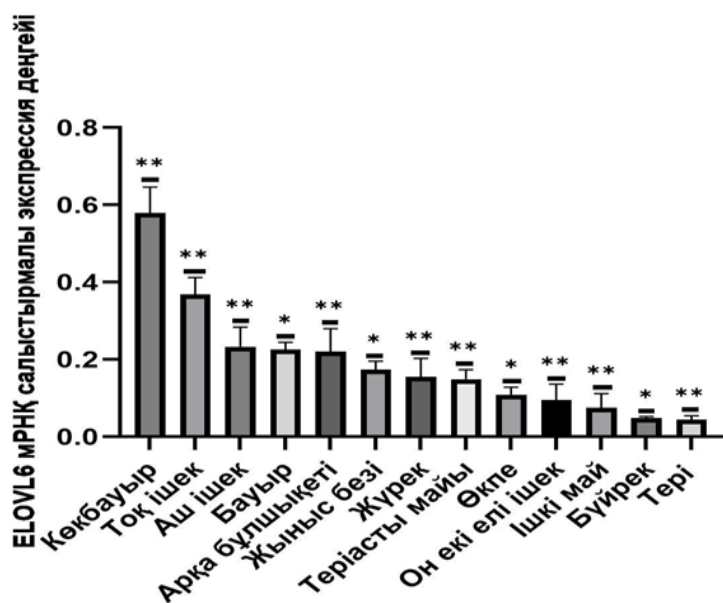
ELOVL6 генінің ұлпалардағы экспрессиясы зерттелді. ELOVL6 – май қышқылдарының тізбегін ұзартуға қатысатын ферментті кодтайтын ген болып табылады. Бұл ген липидтік алмасу үдерістерінде маңызды рөл атқарады. Осыған орай, ELOVL6 генінің экспрессия заңдылықтарын талдау арқылы бірнуклеотидті полиморфизмдерді анықтап және олардың дене өлшемдері көрсеткіштерімен байланысын бағалау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері 3-суретте қалмақ тұқымы бұқашықтарының әртүрлі ұлпаларындағы ELOVL6 генінің мРНҚ-сының салыстырмалы экспрессия деңгейі көрсетілді.

Зерттеу нәтижелері бойынша ELOVL6 генінің [3]

- ең жоғары экспрессия деңгейі көкбауыр мен тоқ ішек ұлпаларында тіркелді ($p < 0,01$). Бұл ұлпаларда липидтік және энергетикалық алмасу процестерінің белсенді жүруі ELOVL6 генінің функционалдық маңызын көрсетеді;

- ELOVL6 генінің орташа экспрессия деңгейі аш ішек, бауыр, арқа (омыртқа) бұлшықеті, жыныс бездері, теріасты май тіні және жүрек ұлпаларында анықталды ($p < 0,05$);

- ал ең төмен экспрессия деңгейі өкпе, он екі елі ішек, висцералды май, бүйрек және тері ұлпаларында байқалды ($p < 0,05$);



3-сурет – Калмақ тұқымы бұқашықтары етінің әртүрлі ұлпаларындағы ELOVL6 генінің экспрессиясы

Зерттеу нәтижелері алынған деректер ELOVL6 генінің де айқын ұлпаға тән экспрессия заңдылықтарына ие екенін көрсетті. Геннің жоғары транскрипциялық белсенділігі липидтік алмасуға қатысатын ұлпаларда байқалса, басқа ұлпаларда оның экспрессиясы шектеулі деңгейде болды. Яғни, бұл геннің көкбауыр мен тоқ ішекте белсенді транскрипциялануы оның липидтік алмасу мен энергия алмасу үдерістеріндегі маңызды рөлін көрсетеді. Ал бүйрек пен тері асты май ұлпаларындағы төмен экспрессия деңгейі ELOVL6 генінің бұл ұлпалардағы функционалдық рөлінің шектеулі екенін болжауға мүмкіндік береді [3].

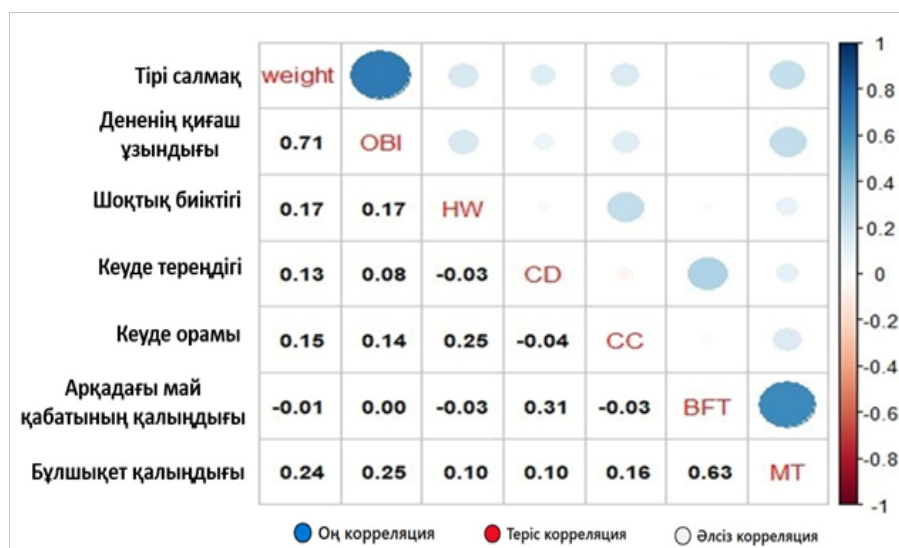
Анықталған генотиптердің корреляциялық байланысын және SNP комбинацияларының калмақ тұқымы ірі қара малының өсуі, ет сапасы, дене өлшемдері мен ұша сипаттамаларына әсері де қоса зерттелді.

«Анықталған генотиптердің корреляциялық байланысы» деген ұғым әртүрлі генотиптер арасындағы өзара байланысты зерттеуді білдіреді, яғни белгілі бір генотиптегі өзгерістердің басқа генотиптердегі немесе нақты фенотиптік белгілердегі өзгерістермен қаншалықты байланысты екенін бағалауға бағытталған. Осы мақсатта, Корреляциялық өзара байланыстар RStudio биостатистикалық бағдарламасында диаграмма құру арқылы талданды (4-сурет).

Құрылған корреляциялық диаграмма калмақ тұқымды ірі қара малда тірі салмақ пен дененің қиғаш ұзындығы, сондай-ақ бұлшықет қалыңдығы мен май қабатының қалыңдығы арасында айқын оң корреляциялық байланыс бар екенін көрсетті. Бұл көрсеткіштер жануарлардың өсу қарқыны мен ет өнімділігін сипаттайтын негізгі морфологиялық белгілердің өзара тәуелді екенін дәлелдейді.

Ал басқа өлшемдік белгілердің әлсіз немесе мүлдем корреляция көрсетпеуі олардың тірі салмаққа немесе ет сапасына тікелей әсерінің төмен екенін немесе бұл белгілердің салыстырмалы түрде дербес дамитынын көрсетуі мүмкін. Алынған нәтижелер SNP комбинацияларының

фенотиптік белгілермен байланысын әрі қарай тереңдетіп зерттеуге және селекциялық бағдарламаларда молекулалық-генетикалық маркерлерді тиімді қолдануға негіз бола алады.



4-сурет – Фенотиптік белгілер арасындағы корреляциялық өзара байланыс диаграммасы

Белгілердің қысқартылған атаулары: OBI – дененің қиғаш ұзындығы (Oblique Body Length), HW – шоқтық биіктігі (Height at Withers), CD – кеуде тереңдігі (Chest Depth), CC – кеуде орамы (Chest Girth), BFT – арқадағы май қабатының қалыңдығы (Backfat Thickness), MT – бұлшықет қалыңдығы (Muscle Thickness), Weight – тірі салмақ

Жүргізілген корреляциялық талдау қалмақ тұқымды ірі қара малдағы өсу, дене бітімі және ұша құрамына қатысты белгілердің өзара байланысын айқын көрсетті. Тірі салмақ пен дене ұзындығы арасындағы жоғары оң корреляция ($r = 0,71$) жануардың жалпы өсу қарқыны мен қаңқа дамуының біртұтас биологиялық процестер арқылы реттелетінін көрсетеді. Бұл нәтиже ірі қара малда дене көлемінің ұлғаюы тірі салмақтың артуымен қатар жүретінін дәлелдейтін алдыңғы зерттеулермен сәйкес келеді [3].

Бұлшықет қалыңдығы мен теріасты май қабатының қалыңдығы арасындағы күшті корреляция ($r = 0,63$) бұлшықет және май тіндерінің дамуы бір-бірімен тығыз байланысты екенін көрсетеді. Аталған заңдылық энергия алмасуы мен липидтік метаболизмді реттейтін гендердің, соның ішінде CRTC2 және ELOVL6 гендерінің, өсу мен май жиналу процестеріне бір мезгілде әсер етуімен түсіндірілуі мүмкін. Бұл тұрғыда ELOVL6 генінің май қышқылдарының биосинтезіне қатысуы, ал CRTC2 генінің энергетикалық гомеостазды реттеудегі рөлі бұл белгілердің қатар дамуына молекулалық негіз бола алады.

Теріасты майының қалыңдығы мен кеуде тереңдігі арасындағы орташа корреляция ($r = 0,31$) дене көлемінің ұлғаюымен май тінінің жиналуы арасында белгілі бір деңгейде байланыс бар екенін көрсетеді. Ал шоқтық биіктігі мен кеуде орамы арасындағы әлсіз корреляция ($r = 0,25$) қаңқа өлшемдерінің кейбір параметрлері бір-бірімен шектеулі түрде ғана байланысатынын аңғартады.

Көптеген белгілер жұптарында корреляцияның әлсіз немесе елеусіз болуы ($r = -0,05-0,25$) бұл көрсеткіштердің салыстырмалы түрде тәуелсіз дамитынын және олардың генетикалық реттелуі әртүрлі болуы мүмкін екенін көрсетеді. Бұл жағдай кейінгі кезеңде жеке белгілердің генетикалық ассоциациясын анықтауға мүмкіндік береді және маркерлік-ассоциациялық селекция үшін маңызды болып табылады.

Жоғарыда келтірілген зерттеу нәтижелері қалмақ тұқымы ірі қара малының әртүрлі ұлпаларында CRTC2 және ELOVL6 гендерінің мРНҚ экспрессиясы айқын ұлпаға тәуелді заңдылықтарға ие екенін көрсетті. CRTC2 гені негізінен энергетикалық метаболизмге белсенді қатысатын жүрек пен бауыр ұлпаларында жоғары экспрессияланса, ELOVL6 гені липидтік алмасуға қатысатын көкбауыр мен ішек ұлпаларында жоғары транскрипциялық белсенділік көрсетті.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері қалмақ тұқымды ірі қара малының әртүрлі ұлпаларында CRTC2 және ELOVL6 гендерінің мРНҚ экспрессиясы айқын ұлпаға тәуелді заңдылықтарға ие екенін көрсетті. CRTC2 гені негізінен энергетикалық метаболизмге белсенді қатысатын жүрек пен бауыр ұлпаларында жоғары экспрессияланса, ELOVL6 гені липидтік алмасуға қатысатын көкбауыр мен ішек ұлпаларында жоғары транскрипциялық белсенділік көрсетті.

Алынған деректер бұл гендердің май және энергия алмасуын реттеудегі молекулалық рөлін нақтылай отырып, оларды ет өнімділігімен байланысты перспективалы кандидат-гендер ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері ірі қара малды селекциялауда молекулалық-генетикалық тәсілдерді қолдану үшін ғылыми негіз бола алады.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер өсу көрсеткіштері мен ұша құрамына қатысты белгілердің биологиялық тұрғыдан өзара байланысты дамитынын дәлелдей отырып, CRTC2 және ELOVL6 гендерінің полиморфизмдері мен экспрессия деңгейінің осы фенотиптік көрсеткіштермен байланысын бағалауға берік ғылыми негіз қалайды.

Авторлардың қосқан үлесі

КН, МА, НҚ, ГМ, ЖС, АТ: зерттеуді концептуализациялап, рәсімдеді, әдебиетті жан-жақты зерттеп, жинақталған деректерді талдады және қолжазбаны дайындады. ҚН: қолжазбаның соңғы редакциясын жасап, тексерді. Барлық авторлар қолжазбаның соңғы редакциясын оқып, қарап шығып, мақұлдады.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Ғылыми жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі қаржыландырған АР23488071 «Қалмақ тұқымы малы етінің сапасына полиморфты гендердің әсері» мемлекеттік грант жобасы аясында 2024-2026 жылдары орындалды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Кажғалиев, Н.Ж., Нұргүлсім, Қ., Маханбетова, А.Б., Жумагазиева, С.М., Хасен, Ж. (2025). Қалмақ тұқымы малынан анықталған полиморфты гендердің дене өлшемдері мен тірі салмағының өсуіне әсері. *Қорқыт ата атындағы Қызылорда университетінің Хабаршысы. Ауыл шаруашылығы ғылымдары сериясы*, 3(74), 227-242. DOI: 10.52081/bkaku.2025.v74.i3.300.
- 2 Насамбаев, Е.Г., Ахметалиева, А.Б., Нугманова, А.Е., Батыргалиев, Е.А., Кулбаев, Р.М. (2023). Племенные и продуктивные качества калмыцкой породы крупного рогатого скота в условиях Западного Казахстана. *Ғылым және білім*, 1-2(70): II, 198-207.
- 3 Kazhgaliyev, N., Nurgulsim, K., Makhanbetova, A., Ibrayev, D., Shaikenova, K., Hasen, Zh., Amantay, S., Zhumagazyeva, S., Mukhametzharova, I., Akkair, B., Adilbekova, E. (2025). Genetic variation and mRNA expression of the ELOVL6 and CRTC2 genes in Kalmyk cattle. *Animal Biotechnology*, 36, 1. DOI:10.1080/10495398.2025.2583795.
- 4 Қажғалиев, Н.Ж., Хасен, Ж.С., Нұргүлсім, Қ., Жумагазиева, С.М., Маханбетова, А.Б. (2025). Қалмақ тұқымының әртүрлі дене типті жас малдарында май ұлпасының жиналуы мен сапасының ерекшеліктері. *Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университетінің ғылыми-практикалық журналы*, 80, 170-181. DOI: 10.52578 /2305-9397-2025-3-5-170-181.
- 5 Schenkel, F.S., Miller, S.P., Jiang, Z., Mandell, I.B., Ye, X., Li, H., Wilton, J.W. (2006). Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle. *J Anim Sci.*, 84(2), 291-9. DOI:10.2527/2006.842291x.
- 6 Zhang, Z., Yang, P., He, P., Xu, J., Lyu, S., Liu, X., Cai, C., Li, H., Li, Z., Ru, B., Xie, J., Lei, C., Chen, H., Wang, E., Huang, Y. (2022). Distribution and association study of PLAG1 gene between copy number variation and Chinese cattle populations. *Anim Biotechnol*, 33(2), 273-278. DOI: 10.1080/10495398.2020.1793769.

7 Liu, T., Feng, H., Yousuf, S., Xie, L., Miao, X. (2022). Differential regulation of mRNAs and lncRNAs related to lipid metabolism in Duolang and Small Tail Han sheep. *Sci Rep.*, 12(1), 11157. DOI: 10.1038/s41598-022-15318-z.

8 Papaleo, M.J., Goszczynski, D.E., Ripoli, M.V., Melucci, L.M., Pardo, A.M., Colatto, E., Rogberg-Muñoz, A., Mezzadra, C.A., Depetris, G.J., Giovambattista, G., Villarreal, E.L. (2016). Growth, carcass and meat quality traits in beef from Angus, Hereford and cross-breed grazing steers, and their association with SNPs in genes related to fat deposition metabolism. *Meat Sci.*, 114, 121-129. DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.12.018.

9 Bila, L., Malatji, D.P., Tyasi, T.L. (2024). Single nucleotide polymorphisms of growth hormone gene in cattle and their association with growth traits: a systematic review. *Trop Anim Health Prod.*, 56(4), 141. DOI:10.1007/s11250-024-03985-1.

10 Enriquez-Valencia, C.E., Pereira, G.L., Malheiros, J.M., de Vasconcelos Silva, JAIL., Albuquerque, L.G., de Oliveira, H.N., Chardulo, LAL., Curi, R.A. (2017). Effect of the g.98535683A>G SNP in the CAST gene on meat traits of Nellore beef cattle (*Bos indicus*) and their crosses with *Bos taurus*. *Meat Sci.*, 123, 64-66. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.09.003.

11 Du, L., Ma, W., Peng, W., Zhao, H., Zhao, J., Wang, J., Wang, W., Lyu, S., Zhang, Z., Qi, X., Wang, E., Lei, C., Huang, Y. (2024). Impact of STAT5A-CNVs on growth traits in Chinese beef cattle breeds. *Gene*, 896, 148073. DOI: 10.1016/j.gene.2023.148073.

12 Junjvlieke, Z., Mei, C.G., Khan, R., Zhang, W.Z., Hong, J.Y., Wang, L., Li, S.J., Zan, L.S. (2019). Transcriptional regulation of bovine elongation of very long chain fatty acids protein 6 in lipid metabolism and adipocyte proliferation. *J Cell Biochem.*, 120(8), 13932-13943. DOI: 10.1002/jcb.28667.

13 Kazhgaliyev, N.Zh., Ismagulov, D., Nurgulsim, K., Makhanbetova, A.B., Titanov, Zh.E., Shamshidin, A.S. (2025). The influence of some polymorphic genes on the productive and breeding qualities of Kalmyk cattle. *Ғылым және білім*, 1(78), 19-31 б. DOI: 10.52578/2305-9397-2025-1-19-31.

14 Hongfang, G., Khan, R., Raza, SHA, Nurgulsim, K., Suhail, S.M., Rahman, A., Ahmed, I., Ijaz, A., Ahmad, I., Linsen, Z. (2022). Transcriptional regulation of adipogenic marker genes for the improvement of intramuscular fat in Qinchuan beef cattle. *Anim Biotechnol.*, 33(4), 776-795. DOI: 10.1080/10495398.2020.1837847.

15 Han, H.S., Kwon, Y., Koo, S.H. (2020). Role of CRT2 in metabolic homeostasis: key regulator of whole-body energy metabolism? *Diabetes Metab J.*, 44(4), 498-508. DOI: 10.4093/dmj.2019.0200.

16 Zhao, X., Liu, Y., Li, Y., Zhang, Y., Yang, C., Yao, D. (2024). MiR-206 Suppresses Triacylglycerol Accumulation via Fatty Acid Elongase 6 in Dairy Cow Mammary Epithelial Cells. *Animals (Basel)*, 14(17), 2590. DOI: 10.3390/ani14172590.

17 Khan, R., Raza, SH.A., Junjvlieke, Z., Wang, H., Cheng, G., Smith, S.B., Jiang, Z., Li, A., Zan, L. (2020). RNA-seq reveal role of bovine TORC2 in the regulation of adipogenesis. *Arch Biochem Biophys*, 680, 108236. DOI: 10.1016/j.abb.2019.108236.

18 Lin, X., Li, B., Chen, Y., Chen, H., Liu, M. (2022). KAT2B Gene Polymorphisms Are Associated with Body Measure Traits in Four Chinese Cattle Breeds. *Animals (Basel)*, 12(15), 1954. DOI: 10.3390/ani12151954.

19 Горлов, И.Ф., и др. (2019). *Современные подходы к повышению эффективности использования генетического потенциала калмыцкого скота: монография*. Волгоград: ООО «СФЕРА», 260.

20 Колпаков, В.И. (2020). Влияние некоторых полиморфных генов на мясную продуктивность и качество мяса у крупного рогатого скота (обзор). *Животноводство и кормопроизводство*, 103, 4.

References

1 Kazhgaliyev, N.Zh., Nurgulsim, K., Makhanbetova, A.B., Zhumagazyieva, S.M., Hasen, Zh. (2025). Qalmaq tuqymy malynan anyqtalğan polimorftıy genderdiń dene ólshemderi men tiri salmaǵynyń ósýine áseri. *Qorqyt ata atyndaqy Qyzylorda ýniversitetiniń Habarshysy. Áýyl sharyashylyǵy ǵylymdary seriasy*, 3(74), 227-242. DOI: 10.52081/bkaku.2025.v74.i3.30. [in Kaz].

- 2 Nasambayev, E.G., Akhmetaliyeva, A.B., Nugmanova, A.E., Batyrgaliyev, E.A., Kulbayev, R.M. (2023). Plemennye i produktivnye kachestva kalmyckoj porody krupnogo rogatogo skota v usloviyah Zapadnogo Kazahstana. *Ĝylym jáne bilim*, 1-2(70): II, 198-207. [in Russ].
- 3 Kazhgaliyev, N., Nurgulsim, K., Makhanbetova, A., Ibrayev, D., Shaikenova, K., Hasen, Zh., Amantay, S., Zhumagazyeva, S., Mukhametzharova, I., Akkair, B., Adilbekova, E. (2025)7 Genetic variation and mRNA expression of the ELOVL6 and CRT2 genes in Kalmyk cattle. *Animal Biotechnology*, 36, 1. DOI:10.1080/10495398.2025.2583795.
- 4 Kazhgaliyev, N.Zh., Hasen, Zh.S., Nurgulsim, K., Zhumagazyeva, S.M., Makhanbetova, A.B. (2025). Qalmaq tuqymynyń ártúrli dene tipti jas maldarynda mai ulpasynyń jinalýy men sapasynyń erekshelikteri. *Jángir han atyndaǵy Batys Qazaqstan agrarlyq-tehnikalyq ýniversitetiniń ğylym-praktikalyq jýrnaly*, 3(80), 170-181. DOI:10.52578/2305-9397-2025-3-5-170-181. [in Kaz].
- 5 Schenkel, F.S., Miller, S.P., Jiang, Z., Mandell, IB., Ye, X., Li, H., Wilton, J.W. (2006). Association of a single nucleotide polymorphism in the calpastatin gene with carcass and meat quality traits of beef cattle. *J Anim Sci.*, 84(2), 291-9. DOI:10.2527/2006.842291x.
- 6 Zhang, Z., Yang, P., He, P., Xu, J., Lyu, S., Liu, X., Cai, C., Li, H., Li, Z., Ru, B., Xie, J., Lei, C., Chen, H., Wang, E., Huang, Y. (2022). Distribution and association study of PLAG1 gene between copy number variation and Chinese cattle populations. *Anim Biotechnol*, 33(2), 273-278. DOI: 10.1080/10495398.2020.1793769.
- 7 Liu, T., Feng, H., Yousuf, S., Xie, L., Miao, X. (2022). Differential regulation of mRNAs and lncRNAs related to lipid metabolism in Duolang and Small Tail Han sheep. *Sci Rep.*, 12(1), 11157. DOI: 10.1038/s41598-022-15318-z.
- 8 Papaleo, M.J., Goszczynski, D.E., Ripoli, M.V., Melucci, L.M., Pardo, A.M., Colatto, E., Rogberg-Muñoz, A., Mezzadra, C.A., Depetris, G.J., Giovambattista, G., Villarreal, E.L. (2016). Growth, carcass and meat quality traits in beef from Angus, Hereford and cross-breed grazing steers, and their association with SNPs in genes related to fat deposition metabolism. *Meat Sci.*, 114, 121-129. DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.12.018.
- 9 Bila, L., Malatji, D.P., Tyasi, T.L. (2024). Single nucleotide polymorphisms of growth hormone gene in cattle and their association with growth traits: a systematic review. *Trop Anim Health Prod.*, 56(4), 141. DOI:10.1007/s11250-024-03985-1.
- 10 Enriquez-Valencia, C.E., Pereira, G.L., Malheiros, J.M., de Vasconcelos, Silva JAII, Albuquerque, L.G., de Oliveira, H.N., Chardulo, LAL., Curi, R.A. (2017). Effect of the g.98535683A>G SNP in the CAST gene on meat traits of Nellore beef cattle (*Bos indicus*) and their crosses with *Bos taurus*. *Meat Sci.*, 23, 64-66. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.09.003.
- 11 Du, L., Ma, W., Peng, W., Zhao, H., Zhao, J., Wang, J., Wang, W., Lyu, S., Zhang, Z., Qi, X., Wang, E., Lei, C., Huang, Y. (2024). Impact of STAT5A-CNVs on growth traits in Chinese beef cattle breeds. *Gene*, 896, 148073. DOI: 10.1016/j.gene.2023.148073.
- 12 Junjvlieke, Z., Mei, C.G., Khan, R., Zhang, W.Z., Hong, J.Y., Wang, L., Li, S.J., Zan, L.S. (2019). Transcriptional regulation of bovine elongation of very long chain fatty acids protein 6 in lipid metabolism and adipocyte proliferation. *J Cell Biochem.*, 120(8), 13932-13943. DOI: 10.1002/jcb.28667.
- 13 Kazhgaliyev, N.Zh., Ismagulov, D., Nurgulsim, K., Makhanbetova, A.B., Titanov, Zh.E., Shamshidin, A.S. (2025). The influence of some polymorphic genes on the productive and breeding qualities of Kalmyk cattle. *Ĝylym jáne bilim*, 1(78), 19-31. DOI: 10.52578/2305-9397-2025-1-19-31.
- 14 Hongfang, G., Khan, R., Raza, S.H.A., Nurgulsim, K., Suhail, S.M., Rahman, A., Ahmed, I., Ijaz, A., Ahmad, I., Linsen, Z. (2022). Transcriptional regulation of adipogenic marker genes for the improvement of intramuscular fat in Qinchuan beef cattle. *Anim Biotechnol*, 33(4), 776-795. DOI: 10.1080/10495398.2020.1837847.
- 15 Han, H.S., Kwon, Y., Koo, S.H. (2020). Role of CRT2 in metabolic homeostasis: key regulator of whole-body energy metabolism? *Diabetes Metab J.*, 44(4), 498-508. DOI: 10.4093/dmj.2019.0200.
- 16 Zhao, X., Liu, Y., Li, Y., Zhang, Y., Yang, C., Yao, D. (2024). MiR-206 Suppresses Triacylglycerol Accumulation via Fatty Acid Elongase 6 in Dairy Cow Mammary Epithelial Cells. *Animals (Basel)*, 14(17), 2590. DOI: 10.3390/ani14172590.

17 Khan, R, Raza, SH.A., Junjvlieke, Z., Wang, H., Cheng, G., Smith, S.B., Jiang, Z., Li, A., Zan, L. (2020). RNA-seq reveal role of bovine TORC2 in the regulation of adipogenesis. *Arch Biochem Biophys*, 680, 108236. DOI: 10.1016/j.abb.2019.108236.

18 Lin, X., Li, B., Chen, Y., Chen, H., Liu, M. (2022). KAT2B Gene Polymorphisms Are Associated with Body Measure Traits in Four Chinese Cattle Breeds. *Animals (Basel)*, 12(15), 1954. DOI: 10.3390/ani12151954.

19 Gorlov, I.F., Slozhenkina, M.I., Lisitsyn, A.B., Bolaev, B.K., Naty, A. (2019). *Sovremennye podhody k povysheniyu effektivnosti ispol'zovaniya geneticheskogo potenciala kalmyckogo skota: monografija*. Volgograd: SFERA LLC, 260. [in Russ].

20 Kolpakov, V.I. (2020). Vliyanie nekotorykh polimorfnykh genov na mjasnuju produktivnost' i kachestvo mjasa u krupnogo rogatogo skota (obzor). *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*, 103, 4. [in Russ].

Экспрессия мРНК и корреляционные связи полиморфных генов, выявленных в различных тканях бычков калмыцкой породы

Кажгалиев Н.Ж., Маханбетова А.Б., Нүргүлсім Қ., Габбасов М.Б., Жумагазиева С.М.
Амангалиев Т.Г.

Аннотация

Предпосылки и цель. Исследовательская работа, представленная в статье, направлена на изучение экспрессии мРНК и корреляционной связи полиморфных генов, выявленных в различных тканях Бычков ТОО «Агрофирма Турк» Жамбылской области, выращивающих калмыцкие породы. Целью исследования является анализ закономерностей экспрессии генов ELOVL6 и CRT2 в различных тканях Бычков калмыцкой породы, выявление одноядерных полиморфизмов и оценка их корреляционной связи с показателями размеров тела. Полученные результаты исследования послужат научной основой для применения молекулярно-генетических подходов в селекции мясного скота.

Материалы и методы. Научно-исследовательские работы проводились в 2024-2025 годах. В качестве объекта исследования были отобраны быки калмыцкой породы в возрасте 12-18 месяцев и собраны 13 различных образцов тканей от 3 голов клинически здоровых 18-месячных животных. Из тканей выделяли общую РНК и проводили синтез кДНК. Уровни экспрессии генов CRT2 и ELOVL6 определялись методом real-time qPCR.

Результаты. Результаты исследования показали, что экспрессия мРНК генов CRT2 и ELOVL6 в различных тканях крупного рогатого скота калмыцкой породы имеет ярко выраженные тканеспецифические паттерны. В то время как ген CRT2 в значительной степени экспрессируется в тканях сердца и печени, которые активно участвуют в энергетическом метаболизме, ген ELOVL6 продемонстрировал высокую транскрипционную активность в тканях селезенки и кишечника, участвующих в липидном обмене.

Заключение. Полученные данные позволяют рассматривать эти гены как многообещающие гены-кандидаты, связанные с продуктивностью мяса, уточняя молекулярную роль этих генов в регуляции жирового и энергетического обмена. Результаты исследования могут служить научной основой для применения молекулярно-генетических подходов к селекции крупного рогатого скота.

Ключевые слова: бычки; корреляционный связ; калмыцкая порода; экспрессия мРНК; ткани: полиморфные гены.

mRNA expression and correlation relationships of polymorphic genes identified in different tissues of kalmyk bullocks

Nurlybay J. Kazgaliev, Aizhan B. Makhanbetova, Kaster Nurgulsim, Miras B. Gabbasov
Saniya M. Zhumagazieva, Tlegen G. Amangaliev

Abstract

Background and Aim. The research presented in this article is aimed at investigating the mRNA expression patterns and correlations of polymorphic genes identified in various tissues of Kalmyk bullocks raised at Agrofirma Turk LLP in the Zhambyl region. The aim of the study was to analyze the expression patterns of the ELOVL6 and CRTC2 genes in various tissues of Kalmyk bull calves, identify single nucleotide polymorphisms and assess their correlation with body size traits. The obtained results may serve as a scientific basis for the application of molecular genetic approaches in the breeding of beef cattle.

Materials and Methods. The study was conducted in 2024-2025. Kalmyk bullocks aged 12-18 months were selected as the object of the study and 13 different tissue samples were collected from three animals of clinically healthy 18-month-old animals. Total RNA was isolated from the tissues and cDNA synthesis was performed. The expression levels of the CRTC2 and ELOVL6 genes were determined using real-time qPCR.

Results. The results showed that the mRNA expression of the CRTC2 and ELOVL6 genes in various tissues of Kalmyk cattle exhibited pronounced tissue-specific patterns. The CRTC2 gene was highly expressed in the heart and liver which are actively involved in energy metabolism, the ELOVL6 gene demonstrated high transcriptional activity in the spleen and intestinal tissues associated with lipid metabolism.

Conclusion. The data obtained suggest that these genes may be considered promising candidate genes associated with meat productivity, helping to clarify their molecular role in the regulation of fat and energy metabolism. The results of the study can serve as a scientific basis for the application of molecular genetic approaches in cattle breeding.

Keywords: bulls; correlation; Kalmyk breed; mRNA expression; tissues; polymorphic genes.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-102-109. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2123

УДК 631.55

Исследовательская статья

Влияние способов уборки на урожайность семян масличного льна в условиях степной зоны Северного Казахстана

Канапин Ч.Б. , Курбанбаев А.И. , Хозыбай Х. , Ергара Ф. 

ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева»
Акмолинская область, Шортандинский район, п. Научный, Казахстан

Автор-корреспондент: Канапин Ч.Б.: china2209@mail.ru

Соавторы: (1: АК) almaskurbanbaev@mail.ru; (2: XX) Khulan.Khozubay@mail.ru
(3: EF) Gaini.ergaraeva9696@mail.ru

Получено: 19.01.2026 **Принято:** 24.02.2026 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. В последние годы в Республике Казахстан наблюдается устойчивый рост посевных площадей масличного льна, что связано с его высокой хозяйственной ценностью. При этом средняя урожайность культуры остаётся невысокой. Одним из ключевых элементов технологии возделывания является способ уборки. Цель исследования - оценить урожайность масличного льна при различных способах уборки.

Материалы и методы. Исследования проводились с использованием стандартных методик полевого опыта в условиях контрастного по увлажнению климата, что позволило получить объективную характеристику эффективности изучаемых агроприёмов в различные по погодным условиям годы.

Результаты. На фоне сходной полевой всхожести во все годы учёта существенные различия в урожайности были обусловлены преимущественно способом уборки. Наивысшие показатели урожайности обеспечивала двухфазная уборка, особенно в более благоприятные по влаге годы, тогда как при применении десикации отмечалось значительное снижение продуктивности.

Заключение. Полученные данные статистически подтверждают выраженное преимущество уборки через предварительный свал в условиях засушливого климата. Таким образом, двухфазная уборка может быть рекомендована в качестве основного способа повышения продуктивности масличного льна в агроценозах северных регионов Казахстана.

Ключевые слова: масличный лён; урожайность; способы уборки; прямое комбайнирование; раздельная уборка; десикация.

Введение

В последние десятилетия масличный лён становится всё более популярным в Республике Казахстан. Так, по данным FAOSTAT, площади, занятые под посевы этой культуры, увеличились с 1,4 тыс. га в 2000 году до 726 тыс. га в 2023 году [1]. Данная тенденция не является случайностью, увеличение посевных площадей связано с ценностью культуры. Масличный лён (*Linum usitatissimum* L.) возделывается во многих странах мира как техническое и пищевое сырьё [2]. Среди технических масел льняное занимает первое место в мире по объёмам производства [3]. Существуют технологии изготовления пшеничной муки с включением льна масличного, для получения более питательного продукта [2]. Также льняным маслом обогащают молочную продукцию. Кроме того, его семена богаты витаминами: они содержат до 53% масла и до 33% белка [4]. Белок льна отличается хорошим аминокислотным составом, способствуя укреплению иммунной системы человека и профилактике сердечно-сосудистых заболеваний [5]. Доказано

также, что растворимая клетчатка льна способствует снижению содержания холестерина в крови, и улучшает работу пищеварительной системы [6]. Широко применяется лен в фармакологической промышленности [7], а также в производстве высокопитательных кормов для животноводства [8]. Велико его значение для косметической и текстильной отраслей [9].

Возрастающий интерес к здоровому питанию, а также многосторонняя практическая ценность льна масличного обуславливают устойчивый рост мирового спроса на данную культуру. Благодаря расширению посевных площадей и благоприятным агроклиматическим условиям, Казахстан уверенно занимает ведущие позиции среди стран-производителей. По данным литературных источников, республика входит в пятёрку крупнейших мировых производителей льна наряду с Канадой, Индией, Россией и Китаем. Однако, для дальнейшего укрепления своих позиций на международном рынке требуется всестороннее совершенствование агротехнологий. Вопросы повышения продуктивности масличного льна через оптимизацию способов уборки находят широкое отражение в научных исследованиях. Так, А.С. Васильев (ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия») сравнивал эффективность прямого комбайнирования и раздельной уборки. По результатам его работы, при раздельной уборке наблюдались меньшие потери семян. Кроме того, при проведении обмолота снопов через 12 суток после скашивания урожайность достигала 16,8-17,1 ц/га, что на 2,3-2,8 ц/га превышало показатели прямого комбайнирования [10].

Исследования, проведённые в ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (С.Л. Елисеев, Е.А. Ренёв, Е.В. Бояшинова), были посвящены оценке влияния десикации и степени побурения коробочек на урожайность масличного льна. Установлено, что применение десикантов обеспечивало преимущество в 1,6 ц/га по сравнению с вариантом без обработки. Наивысшая урожайность отмечалась при уборке на стадии 75% побурения коробочек – она была на 1,5 ц/га выше по сравнению с более ранним сроком. Однако, при запаздывании со сбором до стадии полного (100%) побурения наблюдалось снижение урожайности на 1,0 ц/га [11].

Несмотря на наличие ряда научных данных, вопросы выбора оптимального способа и сроков уборки масличного льна остаются актуальными, поскольку именно от этих факторов в значительной степени зависят урожайность культуры, уровень потерь и качество получаемой продукции. Урожайность льна масличного в Казахстане по-прежнему остаётся невысокой – в среднем около 5,5 ц/га, что зачастую не покрывает затрат на его возделывание. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования элементов технологии, включая уборку, с учётом региональных почвенно-климатических условий, особенностей сортов и применяемых агротехнических приёмов. Наше исследование было направлено на определение оптимальных способов уборки, обеспечивающих получение стабильного и высокого урожая семян масличного льна в условиях степной зоны Северного Казахстана.

Материалы и методы

Полевые исследования проводились по систематическому методу с четырьмя повторениями. Площадь каждой делянки составляла 150 м². В качестве объекта исследования использовался сорт масличного льна «Кустанайский янтарь». Для сбора урожая семян масличного льна применялись три метода: прямое комбайнирование – уборка проводилась при влажности семян 7-8%; раздельная уборка – растения скашивались в валки при влажности семян 20-25%; уборка после десикации – предварительная обработка десикантом «Раундап Экстра», 54% (в норме 2 л/га), перед сбором урожая.

Оценка биоклиматического потенциала и метеорологических условий региона проводилась на основании данных с полевой агрометеостанции «METOS», установленной на опытном участке. Для оценки влагообеспеченности рассчитывался гидротермический коэффициент (ГТК) по Г.Т. Селянину.

ГТК рассчитывался по следующей формуле (1):

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0.1 \sum t}, \quad (1)$$

где, g – количество осадков (мм), выпавших в период, когда среднесуточная температура воздуха превышает $10\text{ }^{\circ}\text{C}$;

$\sum t$ – сумма температур ($^{\circ}\text{C}$) за указанный период.

Уборка урожая масличного льна осуществлялась с помощью комбайна Winterschteiger. В варианте раздельной уборки применялся комбайн «Вектор», оснащённый жаткой для скашивания в валки и переоборудованный для обмолота валков. Для оценки достоверности различий между исследуемыми способами уборки применялся дисперсионный анализ (ANOVA). Все расчёты выполнялись с использованием программ Snedecor и Excel.

Результаты и обсуждение

В период вегетации температурный режим отличался выраженной межгодовой изменчивостью. В мае средняя температура воздуха варьировала от $11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2024 г. до $17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 2021 г., при среднемноголетнем значении $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В 2022 и 2023 гг. май характеризовался температурами $15,7$ - $15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, превышающими многолетний уровень.

В июне во все годы наблюдалось повышение температуры воздуха. Максимальные значения зафиксированы в 2024 г. ($22,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), минимальные – в 2025 г. ($18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), что соответствовало среднемноголетнему уровню ($18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). В 2021-2023 гг. средняя температура июня находилась в пределах $18,4$ - $20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Июль характеризовался наиболее высокими температурами за вегетационный период. В 2023 году средняя температура достигала $24,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, что превышало среднемноголетнее значение ($19,9\text{ }^{\circ}\text{C}$). В 2021, 2022 и 2024 гг. июльские температуры составляли $20,4$ - $21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, тогда как в 2025 г. отмечено значение $19,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, близкое к многолетнему уровню.

В августе во все годы наблюдалось снижение температуры воздуха. Средние значения находились в диапазоне $17,2$ - $19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, при среднемноголетнем показателе $17,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наиболее высокие температуры отмечены в 2021 г. ($19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$), наименьшие – в 2022 г. (рисунк 1).

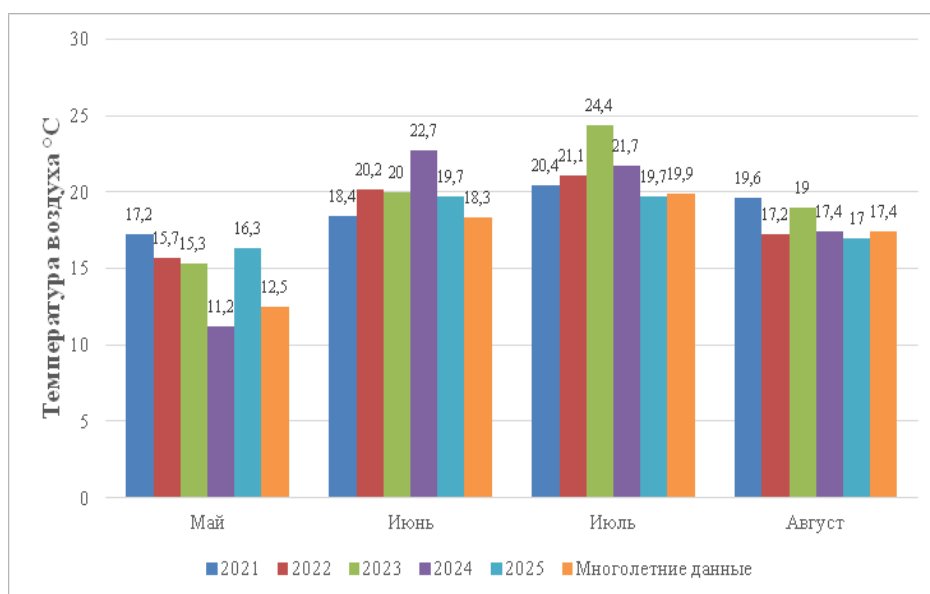


Рисунок 1 – Показатели средней суточной температуры воздуха в 2021-2025 годах по сравнению с многолетними средними значениями, $^{\circ}\text{C}$

В течение вегетационного периода (май-август) количество атмосферных осадков характеризовалось выраженной межгодовой изменчивостью. В мае сумма осадков колебалась от $2,5\text{ мм}$ в 2023 г. до $79,0\text{ мм}$ в 2024 г., при среднемноголетнем значении $31,3\text{ мм}$. В 2021 и 2022 гг. за данный месяц выпало соответственно $12,2$ и $16,9\text{ мм}$, что также отличалось от многолетнего уровня.

В июне количество осадков варьировало в пределах от 13,2 мм в 2023 г. до 64,0 мм в 2024 г. Среднемноголетняя сумма осадков за июнь составляла 38,1 мм. В 2021 и 2022 гг. данный показатель находился на уровне 18,3-22,2 мм, тогда как в 2025 г. было зарегистрировано 34,7 мм осадков.

В июле наибольшее количество осадков зафиксировано в 2024 г. (65,0 мм), минимальное – в 2023 г. (10,6 мм). В 2022 г. сумма осадков составляла 52,9 мм, в 2021 г. – 31,9 мм, в 2025 г. -10,2 мм. Среднемноголетний показатель за июль находился на уровне 57,1 мм.

В августе количество осадков изменялось от 19,0 мм в 2023 г. до 110,0 мм в 2024 г., при среднемноголетнем значении 38,0 мм. В 2021 и 2022 гг. за данный месяц выпало соответственно 37,8 и 25,2 мм, тогда как в 2025 г. сумма осадков достигала 98,5 мм. (рисунок 2).

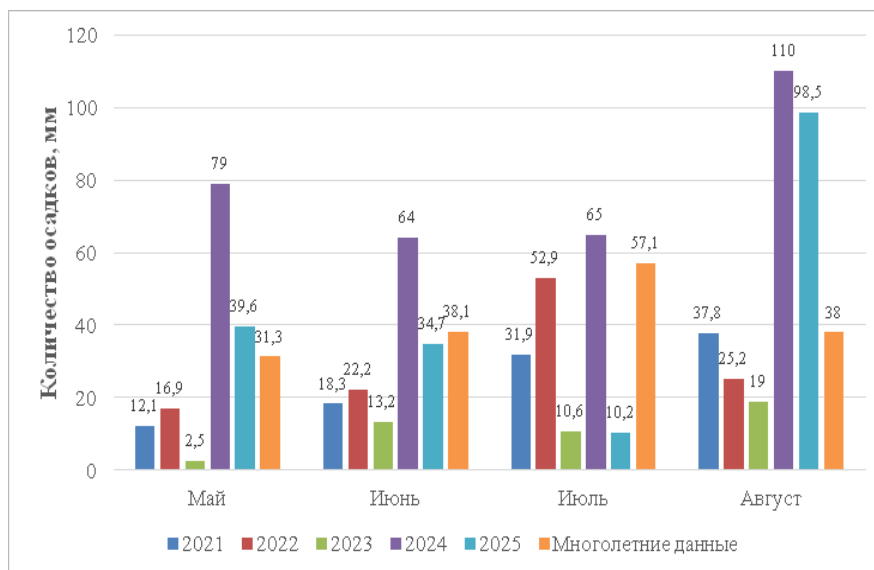


Рисунок 2 – Количество атмосферных осадков в период вегетации льна масличного в 2021-2025 годах по сравнению с многолетними средними показателями, мм

Анализ гидротермических условий в годы проведения исследований показал выраженную межгодовую изменчивость влагообеспеченности вегетационного периода. 2021 и 2023 годы характеризовались как очень засушливые, о чём свидетельствуют низкие значения гидротермического коэффициента (ГТК = 0,43 и 0,41 соответственно). 2022 год относился к засушливым, при значении ГТК = 0,8, что указывает на дефицит влаги при относительно более благоприятных условиях по сравнению с 2021 и 2023 годами, 2024 год резко выделялся по условиям увлажнения и характеризовался аномально высоким уровнем влагообеспеченности (ГТК = 3,2), что свидетельствует о значительном избытке осадков в течение вегетационного периода. В 2025 году гидротермический коэффициент составил 0,79, что позволяет охарактеризовать условия как засушливые, с выраженной неравномерностью распределения осадков по месяцам.

Ежегодно перед посевом проводилась оценка влагообеспеченности почвы. Данные, представленные в таблице 1, необходимы для подтверждения единообразия условий опыта по запасам продуктивной влаги.

Таблица 1 – Запасы продуктивной влаги перед посевом

Способ уборки	Запасы продуктивной влаги мм				
	2021	2022	2023	2024	2025
Прямое комбайнирование	113,4	96,8	105,5	119,1	113,4
Свал	114,9	97,4	106,3	120,2	114,1
Десикация	115,5	98,3	106,8	118,0	114,5

Анализ показал, что в 2021-2025 гг. запасы продуктивной влаги существенно различались по годам, что отражает особенности погодных условий каждого вегетационного периода. При этом внутри каждого года значения по вариантам находились в узком диапазоне. Так, в 2021 г. они составили 113,4-115,5 мм, в 2022 г. - 96,8-98,3 мм, в 2023 г. - 105,5-106,8 мм, в 2024 г. - 118,0-119,1 мм, в 2025 г. - 113,4-114,5 мм. Размах колебаний между вариантами в пределах года не превышал 2,1 мм.

Статистическая обработка данных показала отсутствие достоверных различий между вариантами. Таким образом, исходные условия по запасам продуктивной влаги перед посевом были сопоставимыми и единообразными для всех вариантов опыта.

Помимо оценки влагообеспеченности, важным условием корректной интерпретации последующих показателей урожайности является анализ сформировавшейся густоты стояния растений. В этой связи была проведена оценка полевой всхожести и сохранности льна масличного по вариантам опыта. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Полевая всхожесть льна масличного и сохранность растений, (среднее за 2021-2025 гг)

Способ уборки	Полевая всхожесть		Сохранность растений	
	шт.	%	шт.	%
Прямое комбайнирование	319	70,8	295	65,6
Свал	320	71,2	297	66,1
Десикация	322	71,6	299	66,4

Анализ представленных данных показал, что в среднем за 2021-2025 гг. полевая всхожесть льна масличного по вариантам варьировала в пределах 70,8-71,6%, а сохранность растений к уборке – 65,6-66,4%. Размах колебаний между способами уборки не превышал 0,8 процентных пункта и 3-4 растений на м². Статистическая обработка данных показала отсутствие достоверных различий между вариантами.

Полученные результаты свидетельствуют о формировании сопоставимой густоты стояния растений по всем вариантам опыта. Таким образом, различия в уровне урожайности, выявленные в последующем анализе, не связаны с исходной густотой посевов, что обеспечивает корректность сравнительной оценки способов уборки. Результаты оценки урожайности льна масличного в зависимости от способов уборки представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Урожайность льна масличного в зависимости от способов уборки

Способ уборки	Урожайность					Среднее за годы исследования
	2021	2022	2023	2024	2025	
Прямое комбайнирование	8,1	6,2	2,2	7,1	5,5	5,8
Свал	10,9	8,7	3,5	8,2	7,1	7,7
Десикация	7	3,3	2	3,6	4,8	4,1
НСР 05	0,57	0,51	0,39	0,77	1,64	-

Анализ урожайности льна масличного за 2021-2025 годы показал, что наибольшие значения во все годы исследований обеспечивал способ уборки с предварительным скашиванием в валки. В среднем за годы исследования урожайность при данном способе составила 7,7 ц/га, тогда как при прямом комбайнировании - 5,8 ц/га, а при применении десикации - 4,1 ц/га. Межгодовая вариабельность урожайности была выражена по всем вариантам и в значительной степени определялась погодными условиями вегетационного периода, однако во всех годах вариант со

свалом сохранял преимущество по продуктивности. Наиболее резкое снижение урожайности отмечено в 2023 году, характеризовавшемся неблагоприятными гидротермическими условиями, при этом даже в этих условиях способ уборки в валки обеспечивал более высокие показатели по сравнению с другими вариантами. Прямое комбайнирование занимало промежуточное положение, демонстрируя сближение с десикацией в засушливые годы и приближение к варианту свала при более благоприятных условиях (2021, 2024 годы). Различия между способами уборки в большинстве случаев превышали значение НСР, что указывает на их статистическую достоверность. В целом полученные результаты свидетельствуют о преимуществе уборки с предварительным скашиванием в валки как наиболее эффективного приёма для формирования урожайности льна масличного в условиях проведения опыта.

Заключение

По результатам пятилетнего полевого исследования установлено, что способ уборки оказывает влияние на урожайность масличного льна в условиях Северного Казахстана. Во все годы наблюдений наибольшие значения урожайности обеспечивала уборка с предварительным скашиванием в валки. Прямое комбайнирование характеризовалось более низкими показателями урожайности по сравнению со свалом и занимало промежуточное положение между изучаемыми вариантами, тогда как уборка после десикации сопровождалась минимальными значениями урожайности. Различия между способами уборки сохранялись в годы с контрастными метеорологическими условиями и проявлялись как в благоприятные, так и в неблагоприятные по влагообеспеченности вегетационные периоды. Это свидетельствует о устойчивости выявленных закономерностей и позволяет учитывать полученные результаты при выборе способа уборки масличного льна в условиях региона.

Вклад авторов

АИ: постановка задачи, разработка методологии исследования, координирование на всех этапах. ЧБ: анализ данных и написание основной части статьи. ХХ, ЕГ, ЧБ: проведение полевых экспериментов, сбор и обработка данных, участие в анализе результатов. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Информация о финансировании

Статья подготовлена в рамках программы BR 22885719 «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана».

Список литературы

- 1 FAO STAT. (2025). *База данных по продукции сельского хозяйства. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций*. <https://www.fao.org/statistics/ru>
- 2 Виноградов, Д.В., Перегудов, В.И., Артемова, Н.А., Поляков, А.В. (2010). Особенности формирования продуктивности льна масличного при разном уровне питания. *Агрехимический вестник*, 3, 23-24.
- 3 Кочоров, А.С., Утельбаев, Е.А., Давыдова, В.Н., Базарбаев, Б.Б., Харитоновна, А.С., Нелис, Т.Б., Алдабергенов, А.С. (2024). Фитосанитарное состояние и урожайность масличного льна (*Linum usitatissimum* L.) при различных технологиях возделывания в засушливом регионе Северного Казахстана. *Исследования, результаты*, 4(104), 130-141.
- 4 Першаков, А.Ю., Белкина, Р.И., Сулейменова, А.К. (2021). Отзывчивость сортов льна масличного на возрастающие нормы минеральных удобрений. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 6(171), 11-17.
- 5 Goyal, A., et al. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1633-1653.

6 Nowak, W., Jeziorek, M. (2023). The role of flaxseed in improving human health. *Healthcare*, 11(3), 395.

7 Imran, S., et al. (2024). Therapeutic implications of flaxseed peptides and bioactive components against various diseases. *Journal of Functional Foods*, 119, 106324.

8 Лукомец, В.М., Пивень, В.Т., Тишков, Н.М. (2013). Лен масличный - культура перспективная. *Защита и карантин растений*, 2, 61-80.

9 Stavropoulos, P., et al. (2023). On the path towards a “Greener” EU: A mini review on flax (*Linum usitatissimum* L.) as a case study. *Plants*, 12(5), 1102.

10 Способ уборки льна масличного. Патент RU 2702712 C1. Васильев А.С.; Фаринюк Ю.Т. опубликован 09.10.2019, Бюл. №28.

11 Елисеев, С.Л., Ренёв, Е.А., Бояршинова, Е.В. (2022). Влияние приёмов уборки на урожайность, биохимический состав семян и масла льна масличного. *Молочнохозяйственный вестник*, 3(47).

References

1 FAOSTAT. (2025). *Baza danykh po produkcii sel'skogo khoziaistva*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/statistics/ru>

2 Vinogradov, D.V., Peregudov, V.I., Artemova, N.A., Polyakov, A.V. (2010). Osobnosti formirovaniia produktivnosti l'na maslichnogo pri raznom urovne pitaniia. *Agrokhimicheskii vestnik*, 3, 23-24.

3 Kochorov, A.S., Utel'baev, E.A., Davydova, V.N., Bazarbaev, B.B., Kharitonova, A.S, Nelis, T.B., Aldabergenov, A.S. (2024). Fitosanitarnoe sostoianie i urozhainost' maslichnogo l'na (*Linum usitatissimum* L.) pri razlichnykh tekhnologiiakh vozdeleyvaniia v zasushlivom regione Severnogo Kazakhstana. *Issledovaniia, rezul'taty*, 4(104), 130-141.

4 Pershakov, A.Yu., Belkina, R.I., Suleimenova, A.K. (2021). Otzyvchivost' sortov l'na maslichnogo na vozrastaiushchie normy mineral'nykh udobrenii. *Vestnik Krasnoarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 6(171), 11-17.

5 Goyal, A., et al. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 1633-1653.

6 Nowak, W., Jeziorek, M. (2023). The role of flaxseed in improving human health. *Healthcare*, 11(3), 395.

7 Imran, S., et al. (2024). Therapeutic implications of flaxseed peptides and bioactive components against various diseases. *Journal of Functional Foods*, 119, 106324.

8 Lukomets, V.M., Piven', V.T., Tishkov, N.M. (2013). Len maslichnyi - kul'tura perspektivnaia. *Zashchita i karantin rastenii*, 2, 61-80.

9 Stavropoulos, P., et al. (2023). On the path towards a “Greener” EU: A mini review on flax (*Linum usitatissimum* L.) as a case study. *Plants*, 12(5), 1102.

10 Sposob uborki l'na maslichnogo. Patent RU 2702712 C1, Vasil'ev A.S.; Fariniuk Yu.T. published 09.10.2019, Bull. No. 28.

11 Eliseev, S.L., Renev, E.A., Boiarshinova, E.V. (2022). Vliianie priemov uborki na urozhainost', biokhimicheskii sostav semian i masla l'na maslichnogo. *Molochnokhoziaistvennyi vestnik*, 3(47).

Солтүстік Қазақстанның дала аймағы жағдайында майлы зығыр тұқымдарының өнімділігіне жинау тәсілдерінің әсері

Канапин Ч.Б., Курбанбаев А.И., Хозыбай Х., Ерғара Ф.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Соңғы жылдары Қазақстан Республикасында майлы зығырдың егіс алқаптары тұрақты түрде ұлғаюда, бұл оның жоғары шаруашылық құндылығымен байланысты. Сонымен қатар дақылдың орташа өнімділігі төмен деңгейде қалып отыр. Технологияның негізгі

элементтерінің бірі – жинау тәсілі. Зерттеудің мақсаты майлы зығырды әртүрлі жинау тәсілдері жағдайында өнімділікті бағалау болып табылды.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер ылғалдануы әртүрлі болатын климаттық жағдайларда далалық тәжірибелердің стандартты әдістемелерін қолдана отырып жүргізілді, бұл әртүрлі метеорологиялық жағдайларда зерттелген агротехникалық тәсілдердің әрекетін объективті бағалауға мүмкіндік берді.

Нәтижелер. Барлық есепке алу жылдарында далалық өңгіштіктің шамалас деңгейі аясында өнімділіктегі елеулі айырмашылықтар негізінен жинау тәсілімен айқындалды. Ең жоғары өнімділік көрсеткіштері екі фазалы жинау кезінде байқалды, әсіресе ылғалмен жақсы қамтамасыз етілген жылдары, ал десикация қолданылған жағдайда өнімділіктің айтарлықтай төмендеуі анықталды.

Қорытынды. Алынған деректер статистикалық тұрғыдан дәлелденіп, құрғақ климат жағдайында алдын ала валокқа шауып жинаудың айқын артықшылығын көрсетеді. Осылайша, екі фазалы жинау Қазақстанның солтүстік өңірлерінің агроценоздарында майлы зығырдың өнімділігін арттырудың негізгі тәсілі ретінде ұсынылуы мүмкін.

Кілт сөздер: майлы зығыр; өнімділік; орып-жину тәсілдері; тікелей комбайндау; бөлектеп ору; десикация.

Influence of harvesting methods on the seed yield of oil flax in the steppe zone of Northern Kazakhstan

Chingiz B. Kanapin, Almas I. Kurbanbayev, Khulan Khozybay, Gaini Ergara

Abstract

Background and Aim. In recent years, a steady increase in the cultivated area of oil flax has been observed in the Republic of Kazakhstan, owing to its high economic value. At the same time, the average yield of this crop remains relatively low. One of the key elements of the cultivation technology is the harvesting method. The aim of this study was to evaluate seed yield under different harvesting methods of oil flax.

Materials and Methods. The study was carried out using standard field experiment methodologies under climatic conditions contrasting in moisture availability, which made it possible to obtain an objective assessment of the effectiveness of the studied agronomic practices in years with different weather conditions.

Results. Against the background of similar field emergence in all years of observation, significant differences in yield were determined mainly by the harvesting method. The highest yield values were achieved with two-stage harvesting, especially in years with more favorable moisture conditions, whereas a substantial decrease in productivity was observed when desiccation was applied.

Conclusion. The results were statistically significant and indicate a pronounced advantage of harvesting with preliminary windrowing under arid climatic conditions. Thus, two-stage harvesting can be recommended as the primary method for increasing the productivity of oil flax in agrocenoses in the northern regions of Kazakhstan.

Keywords: oil flax; yield; harvesting methods; direct combining; swath harvesting; desiccation.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-110-122. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/ 10.51452/eaj.2026.1(129).2120

ЭОЖ 636.2.082.453:636.2.04

Зерттеу мақаласы

Етті бағыттағы ірі қара мал тұқымдарының піштірілген бұқашықтарының бордақылау сапасын жайып-семірту және қорада бағып-күту жағдайларында салыстырмалы бағалау

Косилов В.И.¹, Губашев Н.М.², Жумагазиева С.М.³, Амангалиев Т.Г.²
Махимова Ж.Н.², Кожабергенов А.Т.⁴

¹Орынбор мемлекеттік аграрлық университеті, Орынбор, Ресей

²Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан

³С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

⁴Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

Корреспондент автор: Губашев Н.М.: gubashevnrken@gmail.com

Бірлескен авторлар: (1: ВК) kosilov_vi@bk.ru; (2: СЖ) sanya270181@mail.ru

(3: ТА) tlegenag@mail.ru; (4: ЖМ) zhanylsyn16@mail.ru; (5: АК) kozhabergenov79@yandex.ru

Қабылданған күні: 14.01.2026 **Қабылданды:** 18.02.2026 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Бүгінгі таңда етті бағыттағы ірі қара мал шаруашылығы бағып-күту жүйелері мен жоғары бордақылану әлеуеті бар генотиптерді іріктеу арқылы өнімділікті арттыруға және ресурстарды тиімді пайдалануға бағытталған. Зерттеудің мақсаты – әртүрлі бағып-күту жүйелерінде қазақтың ақбас, симментал тұқымдары және олардың будандары сияқты етті бағыттағы піштірілген бұқашықтардың өсу қарқыны мен азық конверсиясын салыстырмалы түрде бағалау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу туғаннан 21 айлық жасқа дейінгі үш генотиптік топтағы піштірілген бұқашықтарға жүргізілді. Мал жайылымдық жайып-семіртуден өтіп, соңғы кезеңде қорада бақыланатын рационмен бордақыланды. Зерттеу барысында тірілей салмақ, орташа тәуліктік өсім, азық тұтыну және морфометриялық көрсеткіштер анықталды. Азық конверсиясы 1 кг тірі салмаққа жұмсалған азық бірліктері арқылы анықталды. Деректерді сипаттамалық және вариациялық статистика әдістерімен өңдеу нәтижесінде генотип пен бағып-күту жүйесінің әсері бағаланды.

Нәтижелер. Ең жоғары тірілей салмақ, орташа тәуліктік өсім және дене бітімі индекстері III топтағы піштірілген бұқашықтарда (симменталдар мен будандарда) тіркелді. Салыстырмалы өсу жылдамдығы мен тірілей салмақтың өсу коэффициенттері генотиптік ерекшеліктерді көрсетті: будандар ерте кезеңде артықшылық танытса, симменталдар бордақылаудың соңына дейін басымдығын сақтады. Морфометриялық параметрлер мен бұлшықет массасы және дене толықтығын сипаттайтын индекстер III топ малдарының ет бағытындағы әлеуетінің жоғары екенін растады.

Қорытынды. Алынған нәтижелер етті бағыттағы ірі қара мал шаруашылығында рациондар мен бағып-күту жүйелерін жобалау кезінде генотиптік ерекшеліктерді ескеру қажеттігін көрсетеді. Аралас бағып-күту жүйесі өсу тұрақтылығы мен азықты пайдалану тиімділігін арттырады, ал симменталдар мен будандар ең жоғары өнімділікті көрсетіп, шаруашылықтың экономикалық тиімділігін арттырады.

Кілт сөздер: етті мал шаруашылығы; піштірілген бұқашықтар; генотип; бордақылау; азық конверсиясы.

Кіріспе

Қазіргі кезеңде әлемдік мал шаруашылығының негізгі міндеттерінің бірі – ет өндіру көлемін арттырумен қатар өндірістің экономикалық тиімділігін және экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз ету болып табылады. Әсіресе етті бағыттағы ірі қара мал шаруашылығы халықты сапалы ақуызбен қамтамасыз ететін маңызды салалардың бірі ретінде стратегиялық маңызға ие. Осыған байланысты соңғы жылдары ғылыми зерттеулер мал өнімділігін арттыруға, азық ресурстарын тиімді пайдалануға және жоғары сапалы сиыр етін өндіруге бағытталған технологияларды жетілдіруге ерекше көңіл бөлуде [1-3].

Қазіргі заманғы етті ірі қара мал шаруашылығы өнімділікті арттыру және өндірістің экономикалық тиімділігін жоғарылату мақсатында бағып-күту жүйелерін жетілдіруге, сондай-ақ бордақылау әлеуеті жоғары генотиптерді іріктеуге бағытталған. Генетикалық әлеуеті жоғары малдарды тиімді пайдалану олардың өсу энергиясын, тірілей салмақ өсімін және азықты пайдалану тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Соңғы онжылдықта селекциялық жұмыстардың нәтижесінде жоғары өнімді тұқымдар мен будандар кеңінен қолданылып, өндірістік жағдайда олардың өнімділік көрсеткіштері тұрақты түрде зерттелуде [4, 5].

Сонымен қатар, қазіргі уақытта мал шаруашылығы өндірісінде бірқатар өзекті мәселелер сақталуда. Олардың қатарына азықтың қымбаттауы, табиғи жайылымдардың өнімділігінің төмендеуі, климаттық өзгерістердің әсері және өндірістік шығындардың өсуі жатады. Мұндай жағдайларда мал азығын тиімді пайдалану, тірілей салмақтың жоғары өсімін қамтамасыз ету және азық конверсиясын жақсарту етті мал шаруашылығының негізгі ғылыми-тәжірибелік міндеттерінің бірі болып табылады [6].

Етті бағыттағы ірі қара мал шаруашылығында малды өсіру және бордақылау кезінде әртүрлі технологиялық жүйелер қолданылады. Олардың ішінде жайып семірту және қорада бордақылау технологиялары кеңінен таралған. Бұл технологиялардың әрқайсысы малдың өсу қарқынына, орташа тәуліктік салмақ өсіміне және азықты пайдалану тиімділігіне әртүрлі әсер етеді. Сонымен қатар бұл көрсеткіштер малдың генотиптік ерекшеліктеріне, бағып-күту жағдайларына және азықтандыру деңгейіне тікелей байланысты.

Қазіргі ғылыми зерттеулерде таза тұқымды және будан малдарды пайдалану арқылы өнімділікті арттыру мәселесіне ерекше көңіл бөлінуде [7, 8]. Будандастыру нәтижесінде алынған малдардың өсу энергиясы жоғары болып, азық конверсиясы жақсарады және ет сапасы жоғары болады. Осыған байланысты әртүрлі генотиптік топтардың өнімділік көрсеткіштерін салыстырмалы түрде бағалау өндірістік жағдайда тиімді технологиялық шешімдерді анықтауға мүмкіндік береді [4].

Сонымен қатар қазіргі уақытта тұтынушылар тарапынан ет сапасына қойылатын талаптар да артып келеді. Еттің мраморлылығы, нәзіктігі, химиялық құрамы және биологиялық құндылығы сияқты көрсеткіштер малды бағып-күту және бордақылау технологияларына тікелей байланысты. Сондықтан мал шаруашылығында жоғары сапалы өнім өндіру үшін генетикалық әлеуеті жоғары малдарды тиімді пайдалану және ғылыми негізделген бордақылау жүйелерін енгізу ерекше маңызға ие. Осыған байланысты зерттеу тақырыбының өзектілігі етті бағыттағы ірі қара мал тұқымдарының піштірілген бұқашықтарының өнімділігіне әртүрлі бағып-күту жүйелерінің ықпалын ғылыми тұрғыдан негіздеу қажеттілігімен айқындалады. Бұл мәселені зерттеу мал шаруашылығында азық ресурстарын ұтымды пайдалану, өндірістің экономикалық тиімділігін арттыру және жоғары сапалы сиыр етін өндірудің ғылыми негіздерін жетілдіруге мүмкіндік береді.

Материалдар мен әдістер

2023-2025 жылдар аралығында жүргізілген зерттеу жұмыстары етті бағыттағы піштірілген бұқашықтар бойынша жүргізілді. Экспериментке үш генотиптік топтағы мал тартылды (әр топта 10 бастан): I топ - қазақтың ақбас тұқымы; II топ - симментал тұқымы; III топ - бірінші ұрпақ будандары ($\frac{1}{2}$ симментал \times $\frac{1}{2}$ қазақтың ақбас). Топтар малдың жасы, тірілей салмағы және жалпы даму деңгейі бойынша аналогтар принципіне сәйкес жасақталды.

Төлдер ему кезеңінде енелерімен бірге жайылым жағдайында өсірілді. Алты айлық жасында енесінен айырылғаннан кейін барлық топтағы піштірілген бұқашықтар бордақылау алаңына

ауыстырылып, бірдей азықтандыру және күтіп-бағу жағдайында ұсталды. Ұстау тәсілі терең ауыстырылмайтын төсеніште байлаусыз еркін жүйе. Жаз мезгілінде мал жайылымда бағылып, 17 айлық жасынан бастап қорытынды бордақылау кезеңі арнайы алаңда жүргізілді.

Тірілей салмақ ай сайын жеке өлшенді. Өлшеу нәтижелері негізінде малдың өсу динамикасы мен орташа тәуліктік салмақ өсімі есептелді. Азықтарды пайдалану тиімділігі дене салмағының 1 кг өсіміне жұмсалған азық бірліктері арқылы бағаланды.

Азықтандыру жас ерекшеліктеріне сәйкес қабылданған зоотехникалық нормалар негізінде ұйымдастырылды, рациондардың қоректік құндылығы стандартты әдістемелік талаптарға сай есептелді.

Эксперименттік зерттеулер жануарларға қатысты биоэтикалық талаптарды сақтай отырып жүргізілді. Зерттеу әдістері мен тәжірибе жүргізу үдерісі Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті жанындағы биоэтика жөніндегі жергілікті комиссияның қорытындысымен мақұлданған.

Деректерді статистикалық өңдеу орташа арифметикалық мәндер, стандартты қателерді есептеу және топтар арасындағы айырмашылықтардың сенімділігін дәстүрлі вариациялық статистика әдістерімен тексеруді қамтыды. Сараптама генотип пен бағып-күту жүйесінің өсу қарқынына және азықты пайдалану тиімділігіне әсерін анықтау мақсатында жүргізілді.

Нәтижелер және талқылау

Ему кезеңінде бұзаулар еселерімен бірге жайылымда бағып-күтілді [2, 4], бұл олардың толыққанды азықтандырылуын және ерте өсу мен дамуға қажетті қалыпты жағдайларды қамтамасыз етті. Алты айлық жасқа жеткеннен кейін барлық мал бордақылау алаңына ауыстырылып, бір қоршауда бірдей бағып-күту және азықтандыру жағдайында ұсталды. Бағып-күту жүйесі ауыстырылмайтын қалың төсем қолданылатын байлаусыз орналастыруды қарастырды, бұл зоогигиеналық нормаларды сақтау мен стресстік әсерді азайтуға ықпал етті. Жазғы кезеңде жас мал табиғи жайылымда жайып-семірітіліп, 17 айлық жасынан бастап олар қора жағдайында қорытынды бордақылауға көшірілді [7].

1-кестеде көрсетілген деректер әртүрлі генотипті піштірілген бұқашықтардың туғаннан 21 айлық жасқа дейінгі барлық өсіру кезеңінде азық және қоректік заттарды тұтынуын бейнелейді. Барлық мал топтары құрылымы бірдей рациондармен қамтамасыз етілді, оған сүт (0-6 ай аралығында берілді), шөп, пішендеме, сүрлем жасыл азық және құнарлы азықтар кірді. Алайда, жеке азық түрлерін және қоректік заттарды тұтыну мөлшері генотипке байланысты әртүрлі болды (1-кесте).

1-кесте – Піштірілген бұқашықтар топтары бойынша азық тұтынуы және рациондардың энергетикалық құндылығы

Көрсеткіштер	I-топ	II-топ	III-топ
Сүт, кг	1127	1283	1255
Пішен, кг	883	929	965
Пішендеме, кг	586	644	599
Сүрлем, кг	4320	4378	4842
Жасыл азық, кг	2397	2479	2540
Құнарлы азықтар, кг	1485	1565	1574
Азық құрамында бар:			
Құрғақ зат, кг	4117	4368	4435
Азық бірліктері	3932,37	4204,01	4241,87
Алмасу энергиясы, МДж	42209	44926	45513
Қорытылатын протеин, кг	421,54	450,60	454,59
1 азық бірлігіне шаққандағы қорытылатын протеин, г	107,2	107,2	107,2
1 кг құрғақ заттағы алмасу энергиясы концентрациясы, МДж	10,25	10,29	10,26

Ең жоғары жалпы азық тұтыну III топтағы піштірілген бұқашықтарда (будандар) байқалды, бұл олардың тірілей салмағының жоғары болуы және өсу қарқынының қарқынды болуымен байланысты [1, 5]. Барлық өсіру кезеңінде олар 4204,01 азық бірлігін тұтынған, бұл I топ (қазақ ақбас тұқымы) көрсеткішінен 7,8% жоғары және II топ (симментал тұқымы) көрсеткішінен 0,9% артық. Алмасу энергиясы 45513 МДж құрады, бұл I топтың деңгейінен (42209 МДж) жоғары және III топпен (44926 МДж) салыстырмалы. II топтың рационндағы қорытылған протеин мөлшері 450,60 кг болды, бұл I топтан 29,06 кг көп, ал III топтан 3,99 кг аз.

Атап өтсек, 1 кг құрғақ заттағы алмасу энергиясының концентрациясы және 1 азық бірлігіне шаққандағы қорытылған протеин мөлшері барлық топтарда тұрақты болды (10,25-10,29 МДж және 107,2 г сәйкесінше), бұл рациондардың негізгі қоректік заттар бойынша теңдестірілгенін көрсетеді [4, 6].

Тірілей салмақтың өзгеру динамикасы бірдей азықтандыру және бағып-күту жағдайларында әртүрлі генотиптегі малдардың өсуі мен дамуының ерекшеліктерін сипаттайтын маңызды көрсеткіш болып табылады [1, 3, 5].

Төменде келтірілген өлшеу нәтижелері піштірілген бұқашықтардың барлық үш тобында туғаннан 21 айлық жасқа дейін тірілей салмақтың тұрақты әрі бірқалыпты артқанын көрсетеді (2-кесте).

2-кесте – Әртүрлі генотипті піштірілген бұқашықтардың тірілей салмақ динамикасы, кг

Жасы, ай	I ($X \pm S_x$)	C_v , %	II ($X \pm S_x$)	C_v , %	III ($X \pm S_x$)	C_v , %
Жаңа туған	25,8 ± 0,56	8,44	29,6 ± 0,73	9,54	27,8 ± 1,02	14,27
3	112,4 ± 3,14	10,82	128,3 ± 4,31	13,02	125,5 ± 4,29	13,24
6	177,2 ± 3,74	8,17	195,4 ± 4,97	9,86	191,3 ± 4,23	10,58
9	239,4 ± 4,36	7,05	261,4 ± 5,29	7,83	264,2 ± 4,66	6,83
12	314,4 ± 5,79	7,13	347,2 ± 7,04	7,85	352,6 ± 5,65	6,20
17	420,2 ± 6,65	6,13	456,7 ± 7,59	6,43	465,0 ± 7,05	5,88
18	445,8 ± 9,21	7,16	485,1 ± 10,12	7,23	494,3 ± 9,68	6,78
19	469,3 ± 8,93	6,59	512,6 ± 9,65	6,52	522,7 ± 9,67	6,41
20	490,9 ± 11,55	7,06	538,0 ± 12,53	6,99	550,0 ± 12,84	7,00
21	509,0 ± 9,74	5,74	562,0 ± 11,63	6,21	574,5 ± 11,94	6,23

Онтогенездің ерте кезеңінің өзінде тірілей салмақ бойынша топаралық айырмашылықтар анықталды. II топтағы (симментал тұқымы) және III топтағы (будандар) жаңа туған малдардың тірілей салмағы I топқа (қазақтың ақбас тұқымы) қарағанда біршама жоғары болды: тиісінше 29,6 және 27,8 кг, ал I топта - 25,8 кг. Симментал тұқымының қазақтың ақбас тұқымынан басымдығы 3,8 кг (14,7%, $P < 0,05$), ал будандардың артықшылығы 1,8 кг (6,5%, $P > 0,05$) құрады. Бұл деректер тұқымдық айырмашылықтардың малдың туған сәтінен бастап-ақ байқалатынын көрсетеді.

Үш айлық жасқа жеткенде тірілей салмақ бойынша айырмашылықтар анағұрлым айқын көрінді. Тірілей салмақ симментал тұқымында - 128,3 кг, будандарда 125,5 кг, ал қазақтың ақбас тұқымында - 112,4 кг болды. Алты айлық жаста да осы үрдіс сақталды: II топтағы малдар I топтағы құрдастарынан 18,2 кг (10,3%, $P < 0,01$), ал III топтың көрсеткішінен 4,1 кг (2,1%, $P > 0,05$) артық болды.

Тоғыз айлық жастан бастап генотиптің малдың өсу қарқыны мен дамуына әсері айқынырақ байқалды. Осы кезеңде будандарда гетерозис әсері көрініс тауып, оның индексі 101,1% құрады, ал 21 айлық жасқа қарай 102,2% дейін артты. Кейінгі жас кезеңдерінде тірілей салмақтың ең жоғары көрсеткіштері тұрақты түрде III топтағы піштірілген бұқашықтарда байқалды, ал II топ аралық орын алып, будандарға жақын мәндер көрсетті. Бұл деректер будандастырудың оң әсерін айқын дәлелдейді.

12 айлық жаста симментал тұқымының тірілей салмағы 347,2 кг, будандарда - 352,6 кг, ал қазақтың ақбас тұқымында - 314,4 кг болды. I және III топтар арасындағы айырмашылық 38,2 кг (12,2%, $P < 0,01$) жетті. 18 айлық жаста симментал тұқымының қазақтың ақбас тұқымынан

басымдығы 39,3 кг (8,8%, $P < 0,01$), ал будандардың артықшылығы 48,5 кг (10,9%, $P < 0,001$) дейін артты.

Тірілей салмақтың ең жоғары мәндері 21 айлық жаста тіркелді. Будандарда ол 574,5 кг, симментал тұқымында - 562,0 кг, ал қазақтың ақбас тұқымында - 509,0 кг болды. III топтың көрсеткіші I топпен салыстырғанда 65,5 кг (12,9%, $P < 0,01$) жоғары болды, бұл симментал тұқымына тән ірі дене бітімінің артықшылығын және жоғары бордақылану қабілетін растайды. Сонымен қатар, будандардың көрсеткіштері де қазақтың ақбас тұқымының таза тұқымды малдарынан едәуір жоғары болып, бұл тұқымаралық будандастырудың тиімділігін айқын дәлелдейді.

Тірілей салмақ көрсеткішінің вариациялық коэффициенті әртүрлі жас кезеңдерінде 5,7-14,3% аралығында болды, бұл топтардың тірілей салмақ бойынша салыстырмалы түрде біркелкі екенін сипаттайды. Ең төмен өзгергіштік тәжірибе соңында байқалды, бұл өсу қарқынының тұрақтануы және түпкілікті дене бітімінің қалыптасуымен түсіндіріледі.

3-кестеде келтірілген тірілей салмақтың орташа тәуліктік өсімінің нәтижелері әртүрлі генотиптегі піштірілген бұқашықтардың өсу ерекшеліктерін жасына және бордақылану кезеңіне байланысты көрсетеді. Ему кезеңінде (0-6 ай) II топтағы малдарда өсу қарқыны жоғары болды, I және III топтармен салыстырғанда тиісінше 921 г, 841 г және 908 г құрады. Бұл будандарда сүт ему және жайылымдық азықты тиімді пайдалануының нәтижесі болып табылады, яғни олардың ерте жастағы гетерозис артықшылығына сәйкес келеді (3-кесте).

3-кесте – Піштірілген бұқашықтардың орташа тәуліктік тірілей салмақ өсімі, г

Жасы, айы	I ($X \pm Sx$)	Sv, %	II ($X \pm Sx$)	Sv, %	III ($X \pm Sx$)	Sv, %
0-6	841 ± 12,4	11,23	921 ± 11,2	12,80	908 ± 13,1	7,92
6-9	691 ± 19,0	10,29	726 ± 19,4	10,02	809 ± 19,3	8,91
9-12	833 ± 30,2	13,57	960 ± 33,9	13,20	982 ± 29,2	11,12
12-17	705 ± 15,8	8,41	730 ± 22,2	11,35	749 ± 24,5	12,20
17-19	829 ± 29,7	11,90	939 ± 31,8	11,27	974 ± 20,9	7,13
19-21	678 ± 56,8	23,73	865 ± 36,5	11,94	909 ± 43,7	13,59
6-17	736 ± 11,5	5,86	792 ± 13,2	6,22	829 ± 14,4	6,48
6-19	757 ± 18,2	7,97	809 ± 13,3	5,47	848 ± 16,9	6,63
6-21	739 ± 11,8	4,53	811 ± 12,0	4,20	840 ± 16,4	5,51
0-17	773 ± 13,6	6,60	837 ± 15,3	6,82	857 ± 14,1	6,13
0-21	767 ± 16,5	6,10	845 ± 18,9	6,36	867 ± 19,6	6,39

6-9 айлық кезеңде барлық топтағы піштірілген бұқашықтардың орташа тәуліктік тірілей салмақ өсімі алдыңғы жас кезеңімен салыстырғанда біршама төмендеді, бұл жайылымдық азықтандыруға көшу және рацион сипатының өзгеруімен байланысты болуы мүмкін. Осы кезеңде ең жоғары өсім симментал тұқымында байқалды - 809 г, бұл олардың айқын етті типі және бордақылауға жақсы бейімделуімен түсіндіріледі.

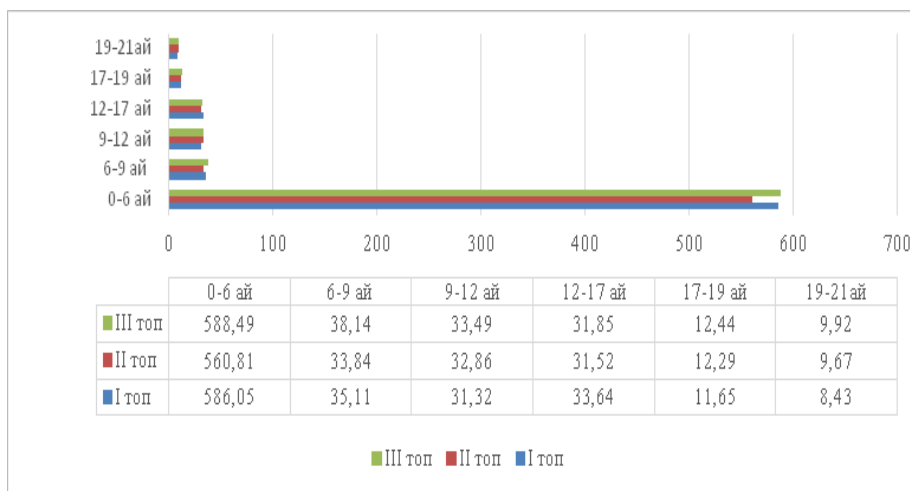
Топтар арасындағы ең айқын айырмашылықтар 9-12 айлық кезеңде байқалды, ол малдың қарқынды өсуімен сәйкес келеді. Осы уақытта тірілей салмақ өсімі будандарда - 982 г, симментал тұқымында 960 г, ал қазақтың ақбас тұқымы бұқашықтарында - 833 г болды. Бұл деректер будандар мен таза тұқымды симменталдардың бордақылану сапасының жоғары екенін, яғни бір жасқа дейін тірілей салмақты тез арттыру қабілетінің басым екенін растайды.

12-17 айлық кезеңде барлық топтағы тірілей салмақтың орташа тәуліктік өсімі біршама төмендеді, бұл малдың физиологиялық жетілуімен байланысты өсу қарқынының баяулауының тән көрінісі болып табылады. Алайда топтар арасындағы айырмашылықтар сақталды: ең жоғары көрсеткіштер III топтағы малда (749 г), ал ең төменгісі I топтағы малда (705 г) байқалды. Соңғы бордақылау кезеңінде (17-19 ай) өсу қарқыны қайтадан артты, әсіресе симментал мен будандарда – тиісінше 939 және 974 г, бұл кезеңдегі рациондардың энергиямен қамтамасыз етілуінің жоғары болуымен түсіндіріледі.

Соңғы бордақылау кезеңінде (19-21 ай) барлық топтарда өсім қарқыны төмендеді, бұл дене салмағының тұрақтану кезеңіне және өсу процесінің аяқталуына сәйкес келеді. Алайда симменталдар мен будандар осы көрсеткіш бойынша қазақтың ақбас тұқымымен салыстырғанда басымдылығын жалғастырды (тиісінше 865 және 909 г), ал қазақтың ақбас тұқымында - 678 г.

Ұзақ мерзімді кезеңдер бойынша жинақталған деректер жалпы үрдісті растайды. Мысалы, барлық өсіру кезеңінде (0-21 ай) орташа тәуліктік тірілей салмақ өсімі будандарда 867 г, симментал тұқымында 845 г, ал қазақтың ақбас тұқымындағы піштірілген бұқашықтарда 767 г болды. Бұл деректер симментал тұқымы мен будандардың өсу қарқыны бойынша тұрақты артықшылыққа ие екенін көрсетеді, ол барлық өсіру және бордақылау айналымында сақталды [1-3, 6].

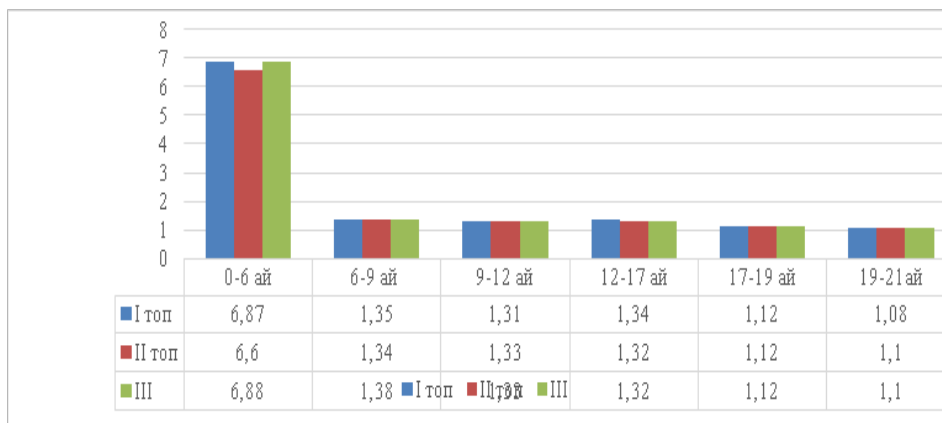
Әртүрлі генотиптегі піштірілген бұқашықтардың салыстырмалы өсу жылдамдығы мен тірілей салмақтың өсу коэффициенті бойынша берілген деректер олардың әртүрлі жас кезеңдеріндегі өсу динамикасын көрсетеді (1-4 суреттер).



1-сурет – Піштірілген бұқашықтардың салыстырмалы өсу жылдамдығы

Ең жоғары салыстырмалы өсу жылдамдығы ерте жас кезеңінде туғаннан 6 айға дейін байқалады, оның мәндері шамамен 560-590% құрайды. Бұл малдың өсу кезеңінде тез және қарқынды тірілей салмақ жинағанын көрсетеді, яғни өмірдің алғашқы айларында қарқынды өсуге тән. Осы кезеңдегі тірілей салмақтың өсу коэффициенті 6,6-6,9 аралығында өзгеріп, едәуір өсу қарқынын растайды.

1-суреттегі 6-9, 9-12 және 12-17 айлық кезеңдерде салыстырмалы өсу жылдамдығы едәуір төмендеп, 31-38% аралығына жетеді, ал тірілей салмақтың өсу коэффициенті 1,31-1,38 шегінде сақталады. Бұл өсу қарқынының біртіндеп тұрақтануын көрсетеді, дегенмен мал тірілей салмақты белсенді түрде жинауды жалғастыра береді.



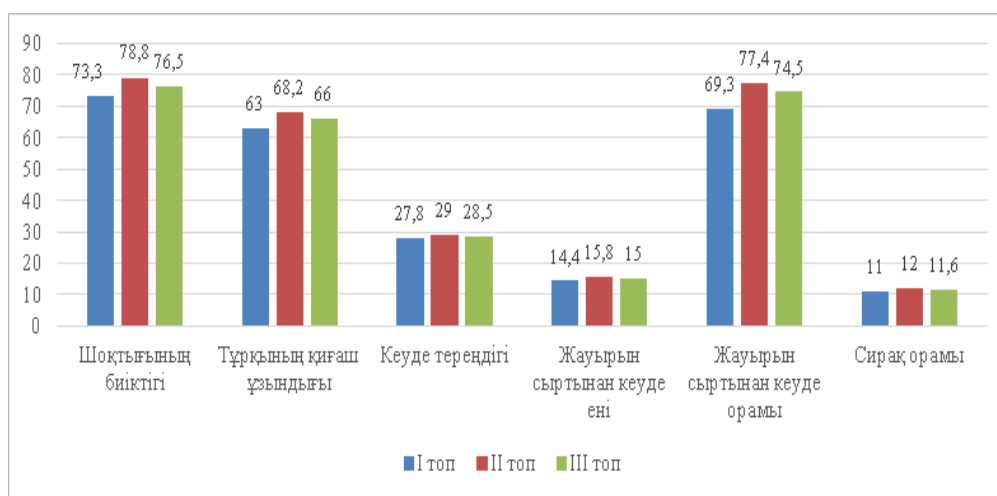
2-сурет – Піштірілген бұқашықтардың тірілей салмағының өсу коэффициенті

2-сурет мәліметтерінен 17-19 және 19-21 айлық жас аралықтарында өсу жылдамдығы 8-12% дейін төмендеп, ал тірілей салмақтың өсу коэффициенті шамамен 1,08-1,12 құрағанын көруге болады. Бұл бордақылану кезеңінің аяқталуына жақындаған сайын өсу қарқынының баяулауын және малдың физиологиялық жетілуін көрсетеді.

Топтар арасындағы айырмашылықтар айтарлықтай емес, дегенмен III топтағы мал салыстырмалы өсу жылдамдығы мен тірілей салмақтың өсу коэффициенті бойынша сәл жоғары көрсеткіштерді көрсетеді. Бұл олардың I және II топтарға қарағанда өнімділігінің жақсырақ екенін және өсу қарқынының қарқындырақ болуын көрсетуі мүмкін.

Жалпы алғанда, деректер піштірілген бұқашықтардың өсу динамикасының типтік сипаттамасын растайды: өмірдің алғашқы айларында қарқынды өсу байқалады, ал кейінгі кезеңдерде салмақ жинау қарқыны біртіндеп төмендейді [5].

Жаңа туған бұқашықтардың негізгі өлшемдерін зерттеу деректерін талдау зерттелген топтар арасында айтарлықтай айырмашылықтардың бар екенін көрсетеді. Бұл айырмашылықтар тұқымдық ерекшеліктермен және будандардың шығу тегімен байланысты (3, 4 - сурет).

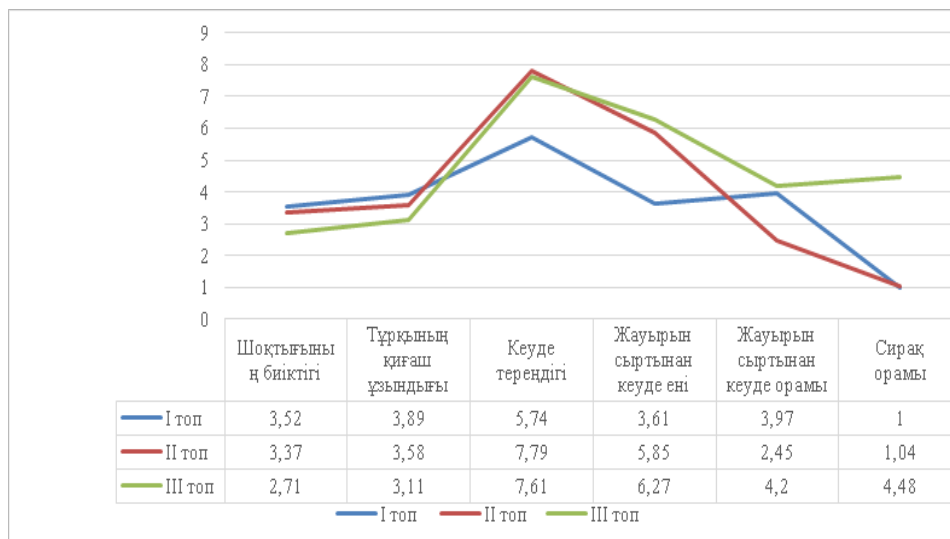


3-сурет – Жаңа туған бұқашықтардың негізгі дене өлшемдері (см)

Көптеген өлшемдер бойынша ең жоғары көрсеткіштер II топтағы малда (симментал тұқымы) тіркелді, олар ең дамыған сызықтық дене пішініне ие болды. Мысалы, олардың шоқтығының биіктігі орташа есеппен 78,8 см, бұл I топтағы қазақтың ақбас тұқымына қарағанда 7,5% жоғары, ал III топтағы будандарға қарағанда 2,9% жоғары. Тұрқының қиғаш ұзындығы бойынша да ұқсас тенденция байқалды - 68,2 см, ал I топта 63,0 см, III топта 66,0 см болды.

Кеуде тереңдігі мен жауырын сыртынан кеуде ені көрсеткіштері кеуде қуысының дамуын бейнелейді, бұл өз кезегінде зат алмасу қарқыны мен өсу потенциалымен тығыз байланысты. II топтағы бұқашықтарда кеуде тереңдігі 29,0 см, бұл I топқа қарағанда 4,3%, ал III топқа қарағанда 1,8% жоғары. Жауырын сыртынан кеуде ені де симменталдарда ең үлкен - 15,8 см, бұл қазақтың ақбас тұқымына қарағанда 9,7%, ал будандарға қарағанда 5,3% жоғары болды.

Дене тұрпатының жалпы дамуын көрсететін көрсеткіш ретінде жауырын сыртынан кеуде ені II топтағы малда айқын басым болды - 77,4 см, ал I топта 69,3 см, III топта 74,5 см болды. Бұл белгі жалпы тірілей салмақ пен малдың конституциялық беріктігімен жақсы корреляцияланады. Топтар арасындағы айырмашылықтар симменталдардың болашақта қарқынды өсуге арналған жақсы экстерьерлік мүмкіндіктерін растайды.



4-сурет – Жаңа туған бұқашықтардың дене өлшемдері бойынша өзгергіштік коэффициенттері (C_v , %)

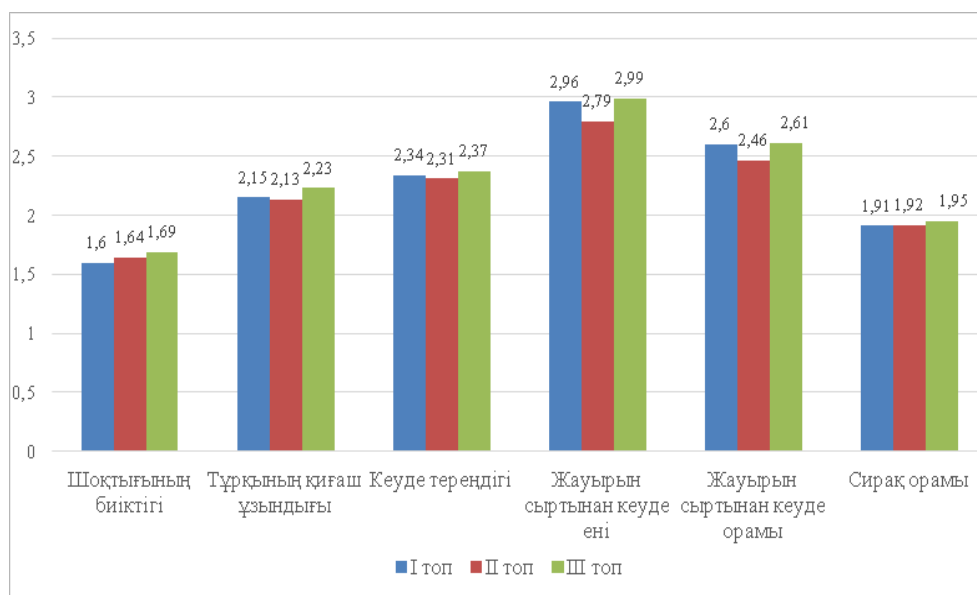
4-сурет мәліметтерінен ең аз өзгергіштік көрсеткіштері сирақ орамы бойынша екенін көреміз, бұл осы өлшемнің аяқтардың беріктігін көрсететін маркер ретінде салыстырмалы түрде тұрақты екенін көрсетеді. Осы белгі бойынша вариация коэффициенті 4,5% аспады, бұл конституциясы біркелкі топтар үшін тән. Жас малдың дене өлшемдерінің ұлғаюы бойынша берілген деректерді талдау көрсеткендей, барлық зерттелген топтарда 21 айлық жасқа дейін негізгі сызықтық көрсеткіштер бойынша айқын экстерьерлік өсу байқалады. Көптеген өлшемдер бойынша ең үлкен өзгерістер III топтағы жануарларда (будандар) тіркелген, бұл олардың таза тұқымды жануарларға қарағанда өсу әлеуетінің жоғары екенін көрсетеді (5-сурет).

5-сурет деректері бойынша III топтағы малдың шоқтығының биіктігі бастапқы көрсеткіштерге қарағанда 1,69 есеге жетті, бұл I топтағы малдар (1,60) және II топтағы малдар (1,64) көрсеткіштерінен жоғары. Тұрқының қиғаш ұзындығы бойынша да ұқсас тенденция байқалды, мұнда будандар ең үлкен өсімді көрсетті - 2,23 есе, бұл олардың дене пішінінің ұзына бойы қарқынды дамуын көрсетеді.

Кеуде тереңдігінің өсуі барлық топтарда біршама жақын болды, дегенмен ең жоғары көрсеткіш будандарда тіркелді - 2,37 есе, бұл олардың жақсы күйін және кеуде қуысының көлемін сипаттайды, ол бүкіл ағзаның дамуымен тығыз байланысты.

Жауырын сыртынан кеуде енінің өсуі бойынша топтар арасында маңызды айырмашылықтар байқалды: будандар ең үлкен өсімді көрсетті - 2,99 есе, бұл олардың кең денелі типтегі дене құрылымын айқын көрсетеді.

Кеуденің жауырын сыртынан және сирақ орамы бойынша өсімі ең біркелкі болды, бұл көрсеткіштердің ұзына бойы және енділік өлшемдерге қарағанда физиологиялық тұрғыдан тұрақты дамуымен байланысты. Дегенмен, III топтағы малдар осы көрсеткіштер бойынша да аздаған артықшылықты сақтады.



5-сурет – Жас малдың негізгі дене өлшемдерінің туғандағы көрсеткіштермен салыстырғанда 21 айлық жасқа дейінгі өсуі, еселік көрсеткіштермен

Жаңа туған бұқашықтардың негізгі дене көрсеткіштерін талдау зерттелген топтар арасында тұрақты экстерьерлік айырмашылықтардың бар екенін көрсетеді, бұл айырмашылықтар тұқымдық ерекшеліктермен қатар будандардың шығу тегінің әсерін де көрсетеді. Жалпы алғанда, барлық топтағы малдардың экстерьерлік типі етті бағыттағы өнімділікпен сәйкес келеді, бұл дененің ұзына бойы және енділік өлшемдерінің қатынасы, кеуде қуысының тереңдігі және дененің көлемділігін сипаттайтын белгілермен расталады (4-кесте).

Барлық үш топтағы бұқашықтардың сирақтылық индексі 62-63% шегінде болды, бұл етті малға тән мықты, төмен салмақты конституцияға сәйкес келеді. Топтар арасындағы аздаған ауытқулар (айырмашылық 1% кем) осы көрсеткіш бойынша теңестірілгендікті көрсетеді. Тұрқының сипаты индексі қазақтың ақбас тұқымды бұқашықтарында 85,2% симменталдарда 86,5% дейін ауытқып, дененің біркелкі ұзарған типін сипаттайды - бұл тірілей салмақтың артуы мен өсу қарқынын күшейтетін белгі болып табылады.

4-кесте – Жаңа туған бұқашықтардың негізгі дене бітімі индекстері, %

Дене бітімі индекстері	I топ (X ± Sx)	Cv, %	II топ (X ± Sx)	Cv, %	III топ (X ± Sx)	Cv, %
Сирақтылық	62,4 ± 0,31	1,58	62,3 ± 0,54	2,70	62,8 ± 0,60	3,04
Тұрқының сипаты	85,2 ± 0,44	1,62	86,5 ± 0,18	0,64	86,3 ± 0,34	1,26
Кеуделілігі	51,9 ± 0,56	3,44	54,6 ± 0,73	4,22	52,7 ± 0,52	3,11
Жұмырлық	110,0 ± 0,53	1,53	113,5 ± 0,43	1,21	112,8 ± 0,52	1,45
Сүйектілік	14,9 ± 0,16	3,51	15,2 ± 0,16	3,38	15,2 ± 0,13	2,68
Дене толықтығы	93,8 ± 0,42	1,41	98,2 ± 0,37	1,20	97,4 ± 0,53	1,73
Еттілік	69,7 ± 0,54	2,45	71,8 ± 0,40	1,76	70,8 ± 0,71	3,15

Симменталдарда кеуделілік индексі ең жоғары болды (54,6%), бұл олардың кеуде қуысының басқаларға қарағанда кең әрі терең дамығанын көрсетеді. Бұл сондай-ақ олардың кеуде қуысының абсолюттік өлшемдері бойынша артықшылығымен сәйкес келеді. Жұмырлық индексі симменталдарда (113,5%) және будандарда (112,8%) қазақтың ақбас тұқымды бұқашықтарының көрсеткіштерінен (110,0%) сәл жоғары болды, бұл олардың дене бітімінің тығыз әрі бұлшықеттерінің жақсы дамығанын білдіреді.

Барлық топтарда сүйектілік индекс көрсеткіштері салыстырмалы түрде тұрақты болды (14,9-15,2%), бұл қаңқа-бұлшық ет аппаратының жақсы дамығанын және дененің дұрыс үйлесімділігін көрсетеді. Дене толықтығы, яғни дененің жалпы дамуын сипаттайтын көрсеткіш, симменталдарда (98,2%) және будандарда (97,4%) ең жоғары болды бұл олардың конституциялық мықтылығы мен етті бағыттағы дене бітім артықшылығын растайды.

Еттілік индексі 69,7-71,8% аралығында өзгеріп отырды, бұл етті бағыттағы жаңа туған бұқашықтар үшін жақсы көрсеткіш болып табылады. Ең жоғары мән симменталдарда тіркелді, бұл олардың кең қаңқалы және жұмыр экстерьеріне сәйкес келеді.

21 айлық жастағы піштірілген бұқашықтардың дене индексі бойынша алынған деректерді талдау әртүрлі топтағы малдардың экстерьерлік дамуы деңгейін объективті бағалауға мүмкіндік береді [1, 3, 4, 8] (5-кесте). 5-кесте мәліметтері бойынша барлық топтарда тұрқының сипаты индексінің ең жоғары мәндері (113,3-114,7%) дененің бойлық өлшемдерінің айқын дамығанын және етті бағыттағы өнімділікке тән ұзарған түрінің қалыптасқанын көрсетеді. Топтар арасындағы аздаған айырмашылық бұл көрсеткіштің салыстырмалы түрде біркелкі дамығанын білдіреді.

5-кесте – 21 айлық жастағы піштірілген бұқашықтардың негізгі дене индекстері, %

Дене бітімі индекстері	I топ (X ± Sx)	Cv, %	II топ (X ± Sx)	Cv, %	III топ (X ± Sx)	Cv, %
Сирақтылық	47,8 ± 0,53	3,55	44,8 ± 0,53	3,55	46,9 ± 0,47	2,84
Тұрқының сипаты	114,7 ± 0,29	0,76	114,7 ± 0,29	2,44	113,3 ± 1,00	2,50
Кеуделілігі	65,1 ± 0,81	3,72	65,4 ± 0,73	2,21	65,7 ± 0,93	4,02
Жұмырлық	136,0 ± 0,22	0,49	134,2 ± 0,44	1,88	131,0 ± 0,63	1,36
Сүйектілік	17,8 ± 0,12	1,97	18,8 ± 0,14	1,28	18,5 ± 0,77	2,73
Дене толықтығы	155,9 ± 0,52	0,99	157,4 ± 0,48	2,14	158,4 ± 0,92	1,76
Еттілік	93,5 ± 0,47	1,51	94,0 ± 0,42	1,88	94,5 ± 0,44	1,32
Кешенді	138,2 ± 1,00	2,18	140,4 ± 1,38	3,48	144,5 ± 0,70	1,38

Сирақтылық индексі 44,8-47,8% аралығында өзгеріп отырды. II топтағы малдардың төменгі көрсеткіштері олардың дене бітімінің пропорционалды екенін көрсетсе, I және III топтардағы малдарда сирақтарының ұзындығы шоқтығының биіктігіне қарағанда сәл ұзын екені байқалды, бұл олардың сүйектері жеңіл және қозғалғыштығы жоғары екенін білдіруі мүмкін.

Кеуделілік индексі көрсеткіштері 65,1-65,7% аралығында өзгеріп, барлық топтарда кеуде қуысының жақсы дамығанын көрсетті. Бұл жалпы экстерьерлік маңызды белгі болып табылады, ол ағзаның жалпы тіршілік сыйымдылығы және еттілік өнімділігімен тығыз байланысты.

Жұмырлық индексінің мәні 131,0-136,0% аралығында болды. Ең жоғары көрсеткіш I топтағы малдарда тіркелді, бұл олардың дене бітімінің басқаларға қарағанда жинақы әрі үйлесімді екенін білдіреді. III топтағы малдардағы индекстің төмендеуі олардың ұзарған дене бітімінің типіне сәйкес келетінін көрсетеді.

Сүйектілік индексі (17,8-18,8%) қаңқа-бұлшық ет аппаратының дамуын көрсетеді. Ең жоғары мән II топта тіркеліп, бұл олардың сүйегінің берік екенін көрсетсе, I және III топтардағы малда ол сәл жеңіл болып келеді.

Барлық топтарда дене толықтығы мен еттілік индексі жоғары деңгейде сақталды (сәйкесінше 155,9-158,4% және 93,5-94,5%), бұл бұлшықет және сүйек-бұлшықет жүйесінің жақсы дамығанын көрсетеді. Әсіресе III топтағы малдардың дене толықтығы айқын байқалады, бұл олардың кейінгі өсіру кезеңінде ең жоғары тірілей салмағының артықшылығымен сәйкес келеді.

Кешенді индекс 138,2-144,5% аралығында өзгеріп отырды, ал III топтағы ең жоғары көрсеткіш экстерьерлік белгілер мен айқын еттілік формалардың ең үйлесімді комбинациясын көрсетеді.

Осылайша, экстерьерлік көрсеткіштердің жиынтығы бойынша III топтағы піштірілген бұқашықтар ең үйлесімді дене бітімімен ерекшеленіп, айқын еттілік бағытты көрсетті, ал I топ малдары тығыз құрылымымен, II топ малдары ауыр қаңқасымен ерекшеленеді. Бұл ерекшеліктерді келешекте бордақылау топтарын қалыптастыру кезінде ескеру қажет.

Қорытынды

III топтағы піштірілген бұқашықтардың азық пен қоректік заттарды тұтынуы I және II топтағы малмен салыстырғанда жоғары болып, олардың өсуі мен дамуын қарқынды етті. III топтағы піштірілген бұқашықтардың орташа тәуліктік салмақ өсімі мен өсу коэффициенттері ең жоғары болып, олардың өнімділігінің жоғары екенін және генетикалық қасиеттерінің жақсы екенін көрсетті.

Жана туған және 21 айлық піштірілген бұқашықтардың морфометриялық көрсеткіштері мен дене индекстері III топтағы малдардың бұлшықет массасы және дене толықтығы бойынша айқын жоғары көрсеткіштерге ие екенін көрсетті, бұл олардың ет бағытындағы әлеуетін растайды. Өртүрлі жас кезеңдеріндегі салыстырмалы өсу қарқыны III топта ең жоғары болып, азықтарды тиімді пайдалану мен биологиялық потенциалдың жоғарылығын көрсетеді.

Бағып-күту жүйесі мен теңгерімді азықтандырудың піштірілген бұқашықтардың өнімділігіне оң әсері негізгі биологиялық көрсеткіштердің тұрақтылығымен және барлық жас кезеңдерінде азық конверсиясының жоғары тиімділігімен дәлелденді. Бұл нәтижелер етті бағыттағы ірі қара мал шаруашылығында рациондарды ғылыми негізде құрастыру және бағып-күту технологияларын ұйымдастыру кезінде тұқымдық ерекшеліктерді ескерудің маңыздылығын көрсетеді.

Авторлардың қосқан үлесі

ВК, СЖ, ТА, ЖМ, АК: зерттеуді концептуализациялап, рәсімдеді, әдебиетті жан-жақты зерттеп, жинақталған деректерді талдады және қолжазбаны дайындады. НМ: қолжазбаның соңғы редакциясын жасап, тексерді. Барлық авторлар қолжазбаның соңғы редакциясын оқып, қарап шығып, мақұлдады.

Әдебиеттер тізімі

1 Бельков, Г.И., Панин, В.А. (2018). Мясная продуктивность бычков-кастратов казахской белоголовой породы и эффективность производства говядины при различных системах содержания. *Вестник мясного скотоводства*, 4, 24-31.

2 Цыдыпов, С.С. (2022). Некоторые хозяйственные и биологические особенности молодняка казахской белоголовой породы забайкальской селекции при полном цикле выращивания (подсосный, стойловый, нагул). *Вестник Бурятской ГСХА им. В.Р. Филиппова*, 4(70), 78-85.

3 Бактығалиева, А.Т., Джуламанов, К.М., Ухтверов, А.М., Герасимов, Н.П. (2019). Продуктивные и биологические качества молодняка казахской белоголовой породы разных генотипов. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*, 2, 94-101. DOI: 10.12737/article_5cde37815507c1.77338365.

4 Текеев, М.А.Э., Умаров, А.С., Исаков, Б.Ж. (2020). Эффективность нагула крупного рогатого скота: продуктивность и качество туш при пастбищном содержании. *Мясное скотоводство. Животноводство и молочное дело*, 3, 15-22.

5 Колосов, Ю.А., Боголюбова, Н.В., Гришина, Н.В. (2020). Мясная продуктивность бычков при интенсивном дорастивании (сравнительная оценка генотипов; приросты, убойные показатели). *Вестник Алтайского ГАУ*, 6(188), 88-93.

6 Мироненко, С.И., Волошенко, Е.В., Науменко, Ю.А. (2014). Показатели экономической эффективности выращивания КРС разного направления продуктивности в условиях нагула и стойлового откорма. *Экономика и предпринимательство в АПК*, 2, 43-48.

7 Дускаев, Г.К., Ахметова, А.Р., Султанова, Н.Ю., и др. (2022). Краткий обзор систем производства говядины в России и мире: экстенсивный нагул интенсивный откорм. *Животноводство и молочное дело*, 2, 5-15.

8 Грошева, О.А. (2023). Казахская белоголовая порода крупного рогатого скота: обзор продуктивности и направлений использования. *Veterinary Press*, 4, 45-56.

References

- 1 Bel'kov, G.I., Panin, V.A. (2018). Myasnaya produktivnost' bychkov-kastratov kazakhskoy belogolovoy porody i effektivnost' proizvodstva govyadiny pri razlichnykh sistemakh sodержaniya. *Vestnik myasnogo skotovodstva*, 4, 24-31.
- 2 Tsydyppov, S.S. (2022). Nekotorye khozyaystvennye i biologicheskie osobennosti molodnyaka kazakhskoy belogolovoy porody zabaikalskoi selektsii pri polnom tsikle vyrashchivaniya (podsosnyy, stoylovyy, nagul). *Vestnik Buryatskoy GSKHA im. V.R. Filippova*, 4(70), 78-85.
- 3 Baktygalieva, A.T., Dzhulamanov, K.M., Ukhtverov, A.M., Gerasimov, N.P. (2019). Produktivnyye i biologicheskie kachestva molodnyaka kazakhskoi belogolovoy porody raznykh genotipov. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii*, 2, 94-101. DOI: 10.12737/article_5cde37815507c1.77338365.
- 4 Tekeev, M.A.E., Umarov, A.S., Isakov, B.Zh. (2020). Effektivnost' nagula krupnogo rogatogo skota: produktivnost' i kachestvo tush pri pastbishchnom sodержanii. *Myasnoe skotovodstvo. Zhivotnovodstvo i molochnoe delo*, 3, 15-22.
- 5 Kolosov, Yu.A., Bogolyubova, N.V., Grishina, N.V. (2020). Myasnaya produktivnost' bychkov pri intensivnom dorashchivanii (sravnitel'naya otsenka genotipov; prirasty, uboinye pokazateli). *Vestnik Altaiskogo GAU*, 6(188), 88-93.
- 6 Mironenko, S.I., Voloshenko, E.V., Naumenko, Yu.A. (2014). Pokazateli ekonomicheskoy effektivnosti vyrashchivaniya KRS raznogo napravleniya produktivnosti v usloviyakh nagula i stoyloвого otkorma. *Ekonomika i predprinimatel'stvo v APK*, 2, 43-48.
- 7 Duskaev, G.K., Akhmetova, A.R., Sultanova, N.Yu., et al. (2022). Kratkiy obzor sistem proizvodstva govyadiny v Rossii i mire: ekstensivnyy nagul intensivnyy otkorm. *Zhivotnovodstvo i molochnoe delo*, 2, 5-15.
- 8 Grosheva, O.A. (2023). Kazakhskaya belogolovaya poroda krupnogo rogatogo skota: obzor produktivnosti i napravleniy ispol'zovaniya. *Veterinary Press*, 4, 45-56.

Сравнительная оценка откормочных качеств кастратов мясных пород крупного рогатого скота в условиях нагульного и стойлового содержания

Косилов В.И., Губашев Н.М., Жумагазиева С.М., Амангалиев Т.Г., Махимова Ж.Н.,
Кожабергенов А.Т.

Аннотация

Предпосылки и цель. Современное мясное скотоводство направлено на повышение продуктивности и рациональное использование ресурсов за счёт совершенствования систем содержания и отбора генотипов с высоким откормочным потенциалом. Цель исследования - сравнительная оценка интенсивности роста и кормовой конверсии кастратов мясных пород крупного рогатого скота (казахская белоголовая, симментальская и их помеси) при нагульном и стойловом откорме.

Материалы и методы. Исследование проводилось на кастратах трёх генотипических групп в возрастной динамике от рождения до 21 месяца. Животные содержались по схеме: пастбищный нагул и заключительный стойловый откорм с контролируемым рационом. Учитывались живая масса, среднесуточные приросты, потребление кормов и морфометрические показатели. Конверсия кормов рассчитывалась по расходу кормовых единиц на 1 кг прироста. Данные обрабатывались с использованием описательной и вариационной статистики для выявления влияния генотипа и системы содержания.

Результаты. Наибольшие показатели живой массы, среднесуточного прироста и индексов телосложения зафиксированы у кастратов группы III (симменталы и помеси). Относительная скорость роста и коэффициенты увеличения массы демонстрировали генотипические различия: помеси проявляли раннее преимущество, а симменталы сохраняли лидерство к концу откорма.

Морфометрические параметры и индексы массивности и мясности подтверждают высокий мясной потенциал группы III.

Заклучение. Полученные данные показывают необходимость учёта генотипических особенностей при проектировании рационов и систем содержания в мясном скотоводстве. Комбинированная система содержания обеспечивает стабильный рост и высокую конверсию кормов, а помеси и симменталы демонстрируют наилучшую продуктивность, что повышает экономическую эффективность отрасли.

Ключевые слова: мясное скотоводство; кастраты; генотип; откорм; конверсия кормов.

Comparative Assessment of the Fattening Qualities of Castrated Meat Cattle Breeds under Feeding and Housing Conditions

Nurken M. Gubashev, Vladimir I. Kosilov, Saniya M. Zhumagazyeva, Tlegen G. Amangaliyev
Zhanylssyn N. Makhimova, Akylzhan T. Kozhabergenov

Abstract

Background and Aim. Modern beef cattle farming aims to increase productivity and ensure the rational use of resources through the improvement of housing systems and selection of genotypes with high fattening potential. The aim of this study was to comparatively assess the growth intensity and feed conversion efficiency of castrated beef cattle of different breeds (Kazakh White-Headed, Simmental, and their crossbreeds) under pasture and stall-feeding conditions.

Materials and Methods. The study was conducted on steers of three genotypic groups over the period from birth to 21 months of age. The animals were kept under a two-phase system: pasture fattening followed by intensive stall fattening with a controlled diet. Measurements included live weight, average daily gain, feed intake, and morphometric parameters. Feed conversion was calculated as feed units per 1 kg of weight gain. The data were analyzed using descriptive and analysis of variance statistics to determine the effects of genotype and feeding system.

Results. The highest values of live weight, average daily gains, and body conformation indices were observed in Group III castrates (Simmental and crossbreeds). Relative growth rates and weight gain coefficients showed genotype-specific differences: crossbreeds demonstrated early growth advantages, while Simmental animals maintained superiority by the end of the fattening period. Morphometric parameters and indices of muscularity and meatiness confirmed the high beef production potential of Group III animals.

Conclusion. The results highlight the importance of considering genotypic characteristics when designing feeding regimes and housing systems in beef cattle farming. The combined feeding system ensures stable growth and high feed conversion efficiency, while crossbreeds and Simmental cattle exhibit the best productivity, thereby improving the economic efficiency of the sector.

Keywords: beef cattle farming; castrates; genotype; fattening; feed conversion.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№1 (129). - P.-123-143. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2124

UDC 631.432.2; 551.4; 528.856

Research article

Relief variation influence on soil moisture in agrofields in Northern Kazakhstan

Berik Rakhimzhanov¹ , Alexander Sidorik² 

¹ Darkan-Dala Agrochemical Laboratory, Astana, Kazakhstan

² Olzha Agro, Qostanai, Kazakhstan

Corresponding author: Berik Rakhimzhanov: rahimzhanovberik@gmail.com

Co-authors: (1: AS) s4zqgm@gmail.com

Received: 26 January 2026 **Accepted:** 17 March 2026 **Published:** 30 March 2026

Abstract

Background and Aim. As a result of the Soviet land resource planning system, large agrofields in Northern Kazakhstan have historically been delineated by administrative boundaries rather than relief characteristics, which can impact soil moisture heterogeneity under semi-arid conditions. This study aims to quantify how micro-relief variability controls soil moisture distribution within a representative chernozem field using UAV-derived terrain data and in-situ soil moisture telemetry.

Materials and Methods. The study was conducted in test Field No. 64 (440 ha), Kostanay region, Kazakhstan. The high-resolution Digital Terrain Models were generated from UAV photogrammetry (Mavic 2 Pro; August 2024) and used to characterize elevation gradients. The six Sentek Drill & Drop probes (0-60 cm, 10 cm intervals) were installed within the elevation range and recorded volumetric water content at 30-minute intervals from May-September 2025, the telemetry from sensors was quality-controlled and aggregated to monthly means. Elevation effects were assessed to determine relationships for each month and depth horizon using Pearson and Spearman correlations and ordinary least-squares regression ($VWC = a + b \cdot \text{Elevation}$).

Results. Despite a small elevation span (~3 m at probe locations), monthly mean soil moisture exhibited consistent moderate associations with elevation, particularly in the early season and deeper horizons. Statistically significant Pearson relationships ($p < 0.05$) were observed for May at 10-20 cm ($r = -0.95$; $b = -3.03\%$ VWC per m; $R^2 = 0.90$), 20-30 cm ($r = -0.91$; $b = -1.87\%$ per m; $R^2 = 0.83$), and 50-60 cm ($r = -0.86$; $b = -2.08\%$ per m; $R^2 = 0.73$). In June, significant effects persisted at 40-50 cm ($r = -0.86$; $b = -1.47\%$ per m; $R^2 = 0.74$) and 50-60 cm ($r = -0.93$; $b = -2.67\%$ per m; $R^2 = 0.86$), and in July at 50-60 cm ($r = -0.85$; $b = -1.82\%$ per m; $R^2 = 0.72$), indicating systematically wetter conditions at lower microtopographic positions.

Conclusion. Integrating UAV-derived terrain metrics with depth-resolved soil moisture telemetry enables detection of meaningful micro-topographic controls on root-zone water availability within large steppe agrofields. The identified elevation–moisture gradients can support within-field zoning, targeted water-conservation practices, and more robust interpretation of remote-sensing soil moisture products in Northern Kazakhstan.

Keywords: Soil; moisture; relief height segmentation; soil moisture telemetry; UAV scanning the agrofields; North Kazakhstan.

Introduction

Productive moisture, defined as the portion of water in the soil accessible for plant uptake, is critical for maintaining plant growth and synthesizing organic matter. In Northern Kazakhstan, the thermal regime does not typically limit the growth and development of grain crops. Instead, the availability of atmospheric precipitation, which influences the reserves of soil moisture during the growing season,

is the primary factor determining productivity [1]. Research has shown that in the dry steppe zone, each millimeter of soil moisture contributes to the formation of up to 14 kg of grain, while summer precipitation contributes 12.2 kg per mm [2, 3]. These results highlight the critical importance of effective water management in agricultural systems.

Against this backdrop, investigating the influence of topographical variation on soil moisture distribution becomes a pressing scientific and practical concern. Remote sensing technologies and UAV-derived digital terrain models (DTM) now provide powerful tools for studying these dynamics [4, 5]. Rapid and accurate estimation of crop root zone soil moisture (RZSM) is critical for precision agricultural water management, especially in arid and semi-arid regions [6]. Understanding the correlations between topography and soil moisture has the potential to guide sustainable agricultural practices, optimize water resource management, and enhance crop resilience in arid environments.

In Kazakhstan, the total available land area is estimated approximately 32 mln ha. More than 55% of that area is located in the dry steppe zone. Kazakhstan's soil is represented by Chernozem with a humus content of 3 to 6% [7]. Chernozem is located in the Northern, Eastern, and Central parts of the country. The South Chernozem in North Kazakhstan occupies 25.3 mln ha and is the most productive soil in the country. An area of approximately 11 mln ha of Chernozem soil was planted rather with spring wheat (*Triticum aestivum* L).

Paradoxically, while the Soviet Union was widely recognized for its advancements in soil science, including pioneering research on soil fertility, water retention, and land management, the practical application of these findings often fell short in large-scale agricultural projects. The theoretical and experimental groundwork laid by Soviet soil scientists provided detailed insights into the relationship between topographical relief and soil moisture dynamics. However, these contributions were frequently overlooked in practice, particularly in state-driven campaigns such as the Virgin Lands initiative.

Soviet researchers extensively studied the impact of relief variations on soil moisture distribution, leveraging field experiments, mathematical modeling, and laboratory simulation. For example, the work of *V. Dokuchaev*, often regarded as the founder of soil science, established the foundational understanding of how topographical and climatic conditions influence soil formation processes [14]. His principles were expanded upon in later decades by scholars like *K.K. Gedroits*, who investigated soil moisture dynamics about capillary action and water retention capacity across different soil types [9].

The research of *G.V. Dobrovolsky* focused on soil hydrology, particularly the role of microrelief in regulating moisture distribution within arid and semi-arid landscapes [5]. His studies highlighted the critical importance of slope gradients in influencing infiltration rates and water storage capacity.

One notable contribution comes from *A.A. Rode*, whose work emphasized the interaction between slope processes and soil erosion, further linking relief variations to water availability. *Rode's* studies in Central Asia provided practical recommendations for land management in semi-arid regions, advocating for contour plowing and the creation of terraces to maximize moisture retention [17].

The legacy of Soviet soil science, however, remains invaluable for modern researchers. Revisiting the extensive work of scholars like *Dokuchaev*, *Gedroits*, *Dobrovolsky* and *Rode* offers a wealth of insights into sustainable agricultural practices and resources management. Incorporating these principles into contemporary land-use strategies could address current challenges, such as water scarcity and land degradation, particularly in arid regions like Kazakhstan.

In the Western scientific community numerous studies have explored the intricate relationships between soil moisture dynamics and topographical variations [11]. In arid and semi-arid regions like Northern Kazakhstan, these interactions play a pivotal role in agricultural productivity [12, 13]. Early foundational work by [14] revisited *Richard's* Equation (1931) to model unsaturated hydraulic flow, laying the groundwork for understanding water movements in soils. *Philip* further advanced infiltration theories, emphasizing the importance of gradient-driven hydraulic conductivity [16]. Analysis of capillary tension in unsaturated flow by *W.R Gardner*, was an attempt at a dynamic modelling approach to the issues of soil water content [8].

The Brooks and Corey model remains one of the most influential approaches for describing the relationship between soil moisture and unsaturated hydraulic conductivity [16]. Their methodology, which integrates soil porosity and retention curves, has been extensively validated across diverse soil types. Similarly, *Gardner's* analytical formulations for capillary tension in unsaturated soils remain relevant for predicting soil water retention under varying topographic conditions [17].

Topographical effects were formalized in [18]. TOP model, which links spatial soil moisture variability to elevation gradients. While this model has been widely adopted, its assumption of uniform lateral flow in unsaturated zones has faced critique. *Zaslavsky* and *Sinai* introduced anisotropy considerations, providing insights into lateral moisture redistribution influenced by soil heterogeneity [22]. Their work underscored the need to account for microrelief a critical factor in regions with undulating terrains, like the Kostanay airfields.

Remote sensing technologies have revolutionized soil moisture assessments, offering precise spatial data. *Gelhar* and *Mantoglou* advocated for stochastic modeling to address soil heterogeneity, emphasizing variability in hydraulic conductivity [10]. More recent studies leverage UAV-derived digital terrain models (DTMs) and spectral indices such as NDWI (Normalized Difference Water Index) to quantify soil moisture patterns across topographical gradients. These advancements enable the integration of temporal datasets, aiding in the analysis of seasonal moisture trends.

With the development of UAV technologies, a new approach to collecting the terrain characteristics of the field has become available. As a result, the drones can be instrumental at the start of the crop cycle. They produce precise map data for early soil analysis, which is useful in planning seed planting [21]. Before the planting season, it is necessary to arrange for land monitoring, including the geography of the field [22]. Current limitations in technologies need to be improved, such as imperfect hovering capabilities, constrained flight time and payload [23].

Combining theoretical models with empirical observations, contemporary research highlights the interplay of topography, vegetation cover, and climate variables in modulating soil moisture. The integration of UAV technologies with remote sensing and hydrological models offers unparalleled precision, making it an indispensable tool for modern agroecological research.

Study area description

The research was carried out in study area located in the Kostanay region, in the northern part of the Republic of Kazakhstan. Kostanay region located in continental climate conditions in North part of the steppe zone which spans over the vast area of Kazakhstan (Figure 1). Annual precipitation is 300-400 mm and a vegetation period from April to October. The growing season is 150-175 days in the north and 180 days in the south part of region, with the solar activity period of 250 days per year [7]. Traditionally, the main crops are wheat, barley, sunflower.



Figure 1 – Study area, Kostanay region of Kazakhstan

According to the Food and Agriculture Organization (FAO) global soil classification framework, the test field is situated within the mapping unit Ch 15-3a [25]. This designation corresponds to a specific soil mapping code used in the FAO's soil legend to denote a distinct combination of soil type, texture, and associated physiographic conditions.

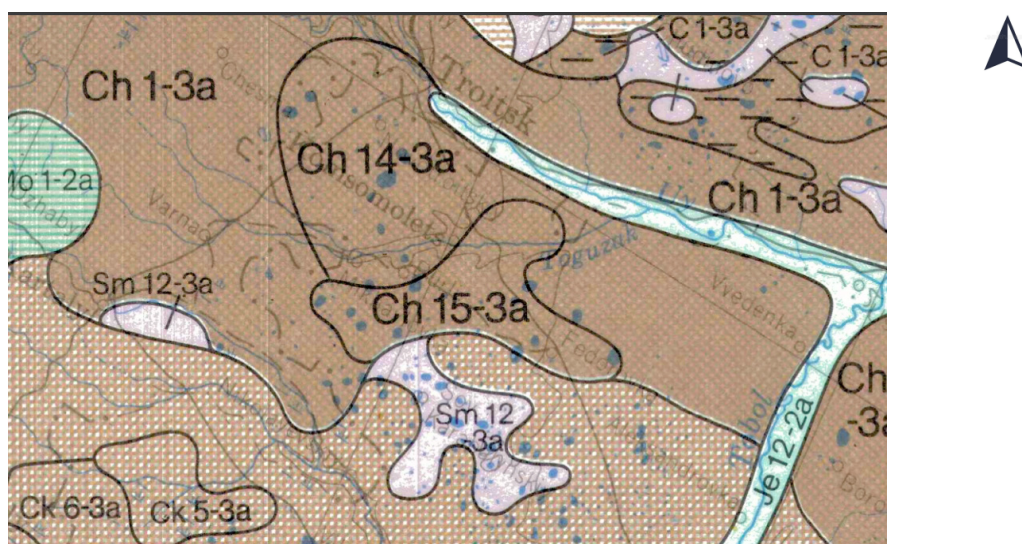


Figure 2 – FAO classification soil type of study area Ch 15-3a

C-Chernozems, Ch-Chaplic Chernozems, 15- North & Central Asia, 3 = fine textured topsoil, a = level to gently undulating slopes (0-8%). Scale: 1: 50 000., maps source: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/regional-and-national-soil-maps-and-databases/en/>

The soil unit Ch-15-3a corresponds to Haplic Chernozems with a fine-textured (clayey) profile located on level to gently undulating terrain (0-8% slope) (Figure 2). These soils are characterized by a deep, dark mollic horizon rich in organic matter, high base saturation (>50%), strong aggregate structure, and excellent natural fertility. Their fine texture enhances water and nutrient retention, making them highly suitable for intensive agriculture, particularly in temperate steppe regions. Haplic Chernozems, exhibit a well-defined horizon sequence typical of steppe soils formed under grassland vegetation. The uppermost layer is a thick, dark mollic A horizon, rich in organic matter and calcium, with a granular structure, high base saturation (>50%), and neutral to slightly alkaline pH indicating excellent natural fertility. This is followed by a B horizon, where increased clay content and moderate structural development occur due to pedogenic processes such as clay translocation. The deeper Ck horizon contains accumulations of secondary carbonates (CaCO_3), often appearing as nodules or filaments. The soil is fine-textured (clayey), has strong aggregation, and forms on level to gently undulating terrain. Its structure promotes good moisture retention and aeration, while the presence of calcium enhances flocculation and root penetration. These characteristics productive and suitable for mechanized dryland farming, especially in temperate continental climates.

Materials and Methods

Field No. 64 located in the Kostanay region of Northern Kazakhstan, spans an area of 440 hectares. The field was surveyed using drone Mavic 2 Pro at the end of August 2024 according to standard procedures for high-resolution topographic and spatial data collection.

During the drone survey, ground control points (GCPs) strategically were placed across the field to ensure accurate georeferencing. The images captured by the the UAV were processed to generate orthophotos and a Digital Elevation Model (DEM). The DEM was subsequently converted into elevation contours, enabling a comprehensive analysis of the field's relief (Figure 3).

Relief Analysis of the Field No.64

The elevation data derived from the DEM were analyzed to quantify the field's topographical variation. The statistical summary of the elevation data is as follows:

- Minimum elevation: 127.96 m;
- Maximum elevation: 135.55 m;
- Elevation range: 7.59 m;

- Average elevation: 131.82 m;
- Standard deviation: 1.13 m.

To further investigate the distribution of the field area by elevation, the data were categorized into 1-meter elevation ranges (Table 1).

Table 1 – Illustrates the distribution of the field area across these elevation ranges

Altitude above the Sea level (m)	Area (ha)	Percentage (%)
< 129	2.3	0.7
129-130	20.1	5.8
130-131	61.8	17.9
131-132	106.3	30.8
132-133	95.4	27.6
>134	59.2	17.2

The largest area, 106.3 hectares (30.8% of the total field area), lies within the 131-132 m elevation range. Other significant ranges include 132-133 m (27.6%) and 130-131 m (17.9%). The lowest elevation range (<129 m) and the highest range (>134 m) cover smaller proportions of the field, accounting for 0.7% and 17.2%, respectively.

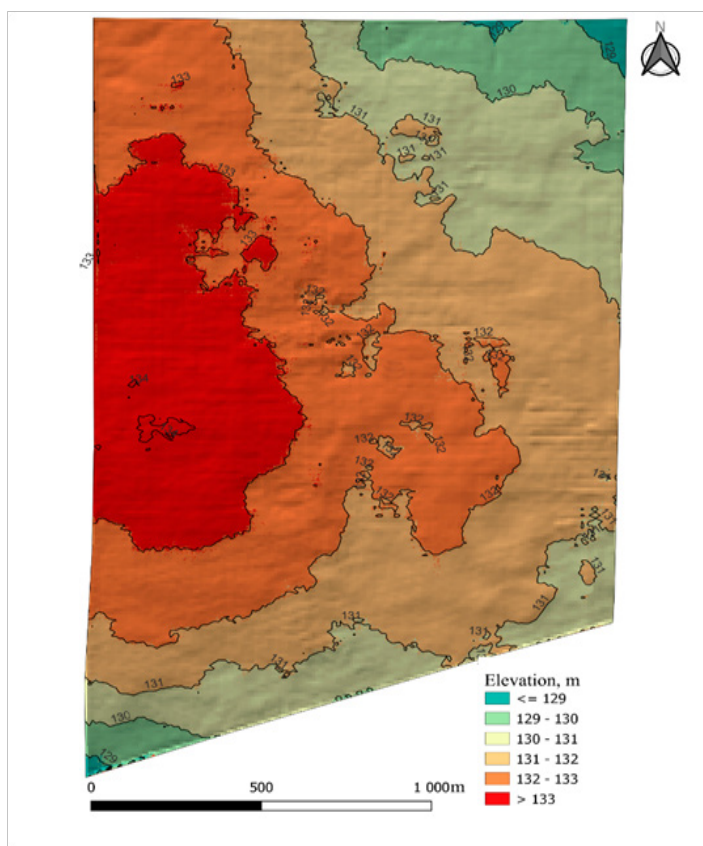


Figure 3 – Field No. 64, Kostanay region, North-West Kazakhstan, Fyodorovka district. The height of the relief spans from 129 to 133 meter above Sea level in Baltic system of heights

To examine the relationship between topography and other field characteristics, the elevation profile of Field 64 was analyzed in detail. Elevation data were obtained from a high-resolution Digital Elevation Model (DEM) taken by UAV scanning and classified into discrete 1-meter elevation intervals. This classification allowed for a systematic assessment of how the field’s surface area is distributed across different altitude bands. The results of this categorization are presented in Figure 4, which provides a quantitative summary of the Field 64 area corresponding to each 1-meter elevation range.

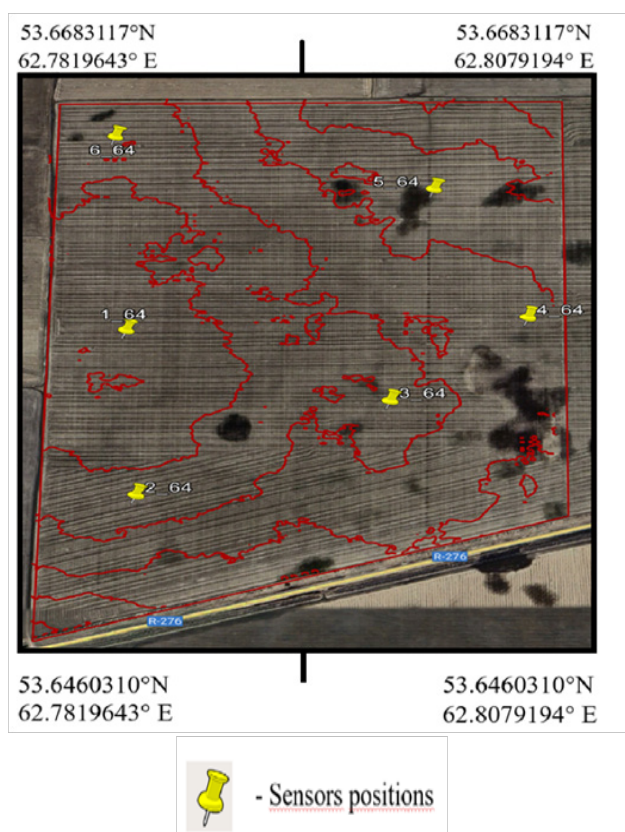


Figure 4 – Position of soil sensor probes and relief heights isolines of the test field

The marginal vertical variability implied by the hypsometry, any representative planar gradient across the field is on the order of 1-5% which is fully corresponds with the FAO classification of undulating slopes 0-8%.

For the purposes of this study, the influence of relief slope characteristics to the soil moisture distribution over the study are the Sentek Drill & Drop-probe soil moisture probes are intentionally positioned across the full range of relief elevations, ensuring spatially representative in-situ measurements.

A total of six soil probe stations were installed in Field 64 on 16 April 2025. The equipment consists of Sentek Drill & Drop-probe soil moisture probes, each installed to a total depth of 60 cm and configured to record measurements at 10 cm intervals.

The soil moisture probes were inserted vertically into the soil profile, enabling simultaneous measurement of volumetric water content and soil temperature at depths of 10, 20, 30, 40, 50, and 60 cm. This installation approach ensures the capture of depth-resolved moisture dynamics within the root zone and subsoil layers, facilitating high-resolution temporal monitoring of soil water status across different micro-topographic positions in the field. In this research we implement of field sectoral study within the 50 m range from the positions of probes as the reliability area (Figure 5). Further Satellite data processing and statistical aggregation of the data sets were located within the 50-meter range study sectors over the field area.



Figure 5 – Sentek Drill & Drop probe for 60 cm depth probe view and installation

Probes were installed in pre-augured holes and good soil-probe contact was ensured using a slurry of sieved native soil and water. Probes were connected to HOBO data loggers configured to record readings every 30 min. Soil temperature data were corrected for thermal lag using adjacent surface measurements and calibrated against air temperature from the meteorological station (Figure 6).



a-Probe # 64-1



b-Probe # 64-2



c-Probe # 64-3



d-Probe # 64-4

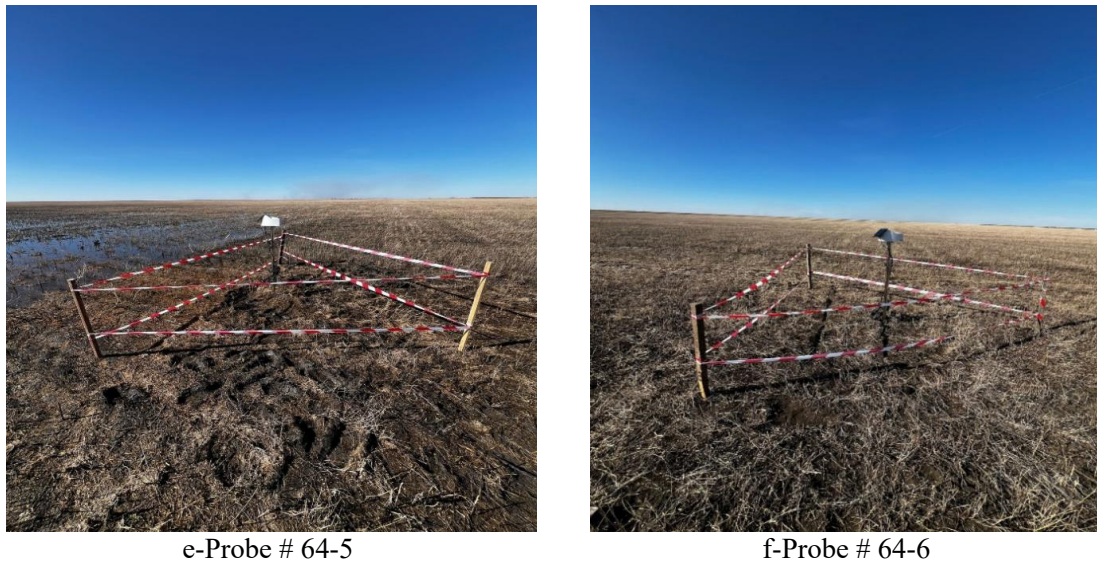


Figure 6 – Sentek Ground soil probes installation field view
a, b, c, d, e, f - pictures are the positions of the probes in different angle of view

In this study, all in situ soil probes were bench calibrated under laboratory conditions prior to field deployment. Following installation, the probes require an equilibration period of approximately 2-3 weeks for readings to stabilize and for internal self calibration routines to complete. Consequently, by the time of the first field campaign and the coincident satellite acquisitions, the probe records can be treated as stable and reliable for analysis, for the protecting the equipment from external factors, locations were marked by wood sticks and tape (Figure 6).

Telemetry is provided via the GSM cellular network, and measurements are acquired at a 30 min sampling interval. The user facing software allows configurable temporal aggregation, enabling data retrieval as hourly records or as daily averages, and supports export in multiple standard data formats to facilitate downstream processing.

Statistical analysis of in-situ soil-moisture telemetry

Half-hourly volumetric water content (VWC, %) records from the six Sentek Drill & Drop-probes were quality-controlled prior to analysis. Data were screened for missing timestamps and physically implausible values, and short isolated spikes were treated as artefacts and removed using a median-based filter. Because probe readings may drift during the post-installation equilibration period, the first weeks after deployment were not used for inference; subsequent analyses were restricted to May-September 2025 (Appendixes A-F). For each sensor and depth horizon (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, and 50-60 cm), daily means were calculated and then aggregated to monthly means to provide a robust summary that is less sensitive to high-frequency noise.

To evaluate whether topographic position is associated with soil moisture, the elevation at each probe location was treated as a fixed covariate (user-validated reference heights). For each month and depth horizon, dependence of monthly mean VWC on elevation was quantified using Pearson correlation (linear association), Spearman rank correlation (monotonic association, robust to non-normality and outliers), and ordinary least-squares regression of the form $VWC = a + b \cdot \text{Elevation}$, where the slope b represents the expected change in monthly mean VWC per 1 m elevation difference. Given the small spatial sample size ($n = 6$ sensors) and the narrow elevation range (~ 3 m), results are interpreted primarily in terms of effect direction and magnitude, with p-values reported as descriptive evidence rather than definitive hypothesis tests. All statistics were computed independently for each month-horizon combination.

Results and Discussion

Monthly mean volumetric water content (VWC, %) was computed for six soil-moisture sensors across six depth horizons (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, and 50-60 cm) for May-September 2025. Elevation at each sensor installation point was taken from user-validated reference heights (Table 2-6).

For each month and depth horizon, the dependence of VWC on elevation was quantified using Pearson correlation, Spearman rank correlation, and a simple linear regression model ($VWC = a + b \cdot \text{Elevation}$). Because the analysis is based on $n = 6$ sensors, the statistical power is limited, statistical power is limited; therefore, the interpretation emphasizes effect direction, magnitude, and cross-month consistency.

Table 2 – Monthly mean VWC (%) by sensor and depth horizon, May 2025

Sensor	Elev. (m)	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
1_64	133	31.82	42.29	47.10	48.80	49.15	47.99
2_64	132	36.56	46.47	48.55	49.59	49.90	49.77
3_64	132	27.12	44.36	48.30	48.65	49.42	48.79
4_64	131	37.37	48.00	48.76	48.37	49.75	49.14
5_64	130	36.71	51.17	53.20	55.27	50.75	54.81
6_64	132	23.59	43.29	48.37	48.04	46.07	48.53

Table 3 – Monthly mean VWC (%) by sensor and depth horizon, June 2025

Sensor	Elev. (m)	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
1_64	133	9.02	26.43	38.40	45.15	47.62	46.76
2_64	132	11.16	19.68	30.92	43.46	47.57	48.29
3_64	132	6.88	23.00	32.54	41.84	47.38	47.75
4_64	131	13.76	35.60	47.29	47.93	49.77	49.59
5_64	130	8.29	25.40	43.49	54.68	51.18	55.16
6_64	132	19.73	40.91	47.67	48.01	46.52	49.16

Table 4 – Monthly mean VWC (%) by sensor and depth horizon, July 2025

Sensor	Elev. (m)	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
1_64	133	8.40	20.40	32.49	40.53	46.59	46.00
2_64	132	10.75	16.34	26.74	40.39	47.07	47.94
3_64	132	6.72	19.49	23.02	32.21	42.78	45.65
4_64	131	12.03	29.06	43.69	46.97	49.07	49.03
5_64	130	7.16	12.32	17.29	26.51	35.63	51.57
6_64	132	18.42	39.34	46.60	47.57	46.38	49.20

Table 5 – Monthly mean VWC (%) by sensor and depth horizon, August 2025

Sensor	Elev. (m)	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
1_64	133	9.92	17.43	29.63	38.01	46.10	45.55
2_64	132	9.85	12.92	20.64	35.41	46.64	47.82
3_64	132	8.06	19.83	21.50	29.92	40.46	43.32
4_64	131	13.68	24.15	37.71	45.31	48.26	48.36
5_64	130	9.98	11.34	12.40	11.47	17.73	42.29
6_64	132	16.90	35.05	42.87	44.66	44.23	48.25

Table 6 – Monthly mean VWC (%) by sensor and depth horizon, September 2025

Sensor	Elev. (m)	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm	50-60 cm
1_64	133	14.64	19.90	28.12	35.90	44.93	44.74
2_64	132	15.18	15.51	17.63	31.58	45.63	47.41
3_64	132	12.69	26.44	23.79	30.49	39.60	42.09
4_64	131	16.92	26.78	35.47	42.85	47.36	47.73
5_64	130	13.40	14.54	11.08	10.27	16.28	40.54
6_64	132	17.01	34.68	41.03	42.27	43.14	47.43

Elevation dependence of monthly mean soil moisture.

The elevation–VWC relationship was seasonally and vertically heterogeneous. In May, locations at higher elevations were generally drier, with strong negative associations for 10-20 cm, 20-30 cm, and 50-60 cm. In June and July, the negative relationship with elevation persisted primarily in deeper horizons (40-60 cm). By August and September, shallow horizons (0-20 cm) showed weak and inconsistent associations, whereas intermediate depths (30-50 cm) exhibited a tendency toward higher VWC at higher elevations; however, these late-season positive tendencies were not statistically significant at $n = 6$ and should be considered indicative rather than conclusive.

Month-horizon combinations with Pearson $p < 0.05$ were:

- May 2025, 10-20 cm: $r = -0.95$, $p = 0.004$; $b = -3.03$ % per m, $R^2 = 0.90$.
- May 2025, 20-30 cm: $r = -0.91$, $p = 0.011$; $b = -1.87$ % per m, $R^2 = 0.83$.
- May 2025, 50-60 cm: $r = -0.86$, $p = 0.029$; $b = -2.08$ % per m, $R^2 = 0.73$.
- June 2025, 50-60 cm: $r = -0.93$, $p = 0.008$; $b = -2.67$ % per m, $R^2 = 0.86$.
- June 2025, 40-50 cm: $r = -0.86$, $p = 0.027$; $b = -1.47$ % per m, $R^2 = 0.74$.
- July 2025, 50-60 cm: $r = -0.85$, $p = 0.032$; $b = -1.82$ % per m, $R^2 = 0.72$.

The regression slope b represents the expected change in monthly mean VWC per 1 m increase in elevation. Given the modest elevation range across sensors (130-133 m) and the small spatial sample size, these results may reflect not only topographic effects but also co-varying site factors (e.g., soil texture, microrelief-driven redistribution, and management). Accordingly, elevation should be interpreted as a proxy variable of local setting rather than a standalone causal driver.

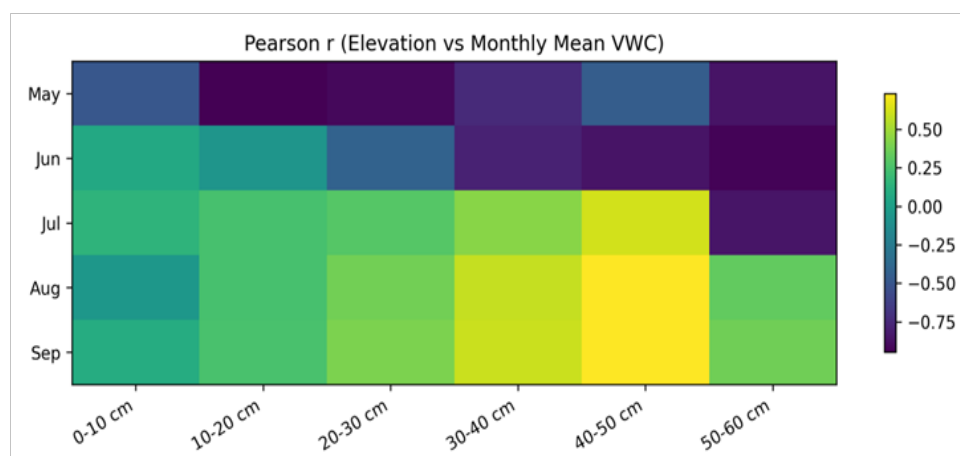


Figure 7 – synthesizes the Pearson correlation coefficients between elevation and monthly mean VWC across depth horizons for May-September 2025

The correlation structure is both seasonally and vertically heterogeneous. In May, higher-elevation locations tended to be drier, with the strongest negative association at 10-20 cm ($r = -0.95$), followed by 20-30 cm ($r = -0.91$) and 50-60 cm ($r = -0.86$). During June-July, negative elevation signals persisted mainly in the deeper horizons (40-60 cm), whereas shallow horizons (0-20 cm) were weak and inconsistent, reflecting stronger control by short-term atmospheric forcing and surface evaporation.

By August-September, correlations at intermediate depths (30-50 cm) shifted toward weak-to-moderate positive values, suggesting that moisture storage in the root-zone/subsoil can differ from near-surface behavior late in the season, however, these late-season tendencies are not robust given the small sample size ($n = 6$) and should be interpreted as indicative patterns rather than conclusive evidence of a reversal in topographic control.

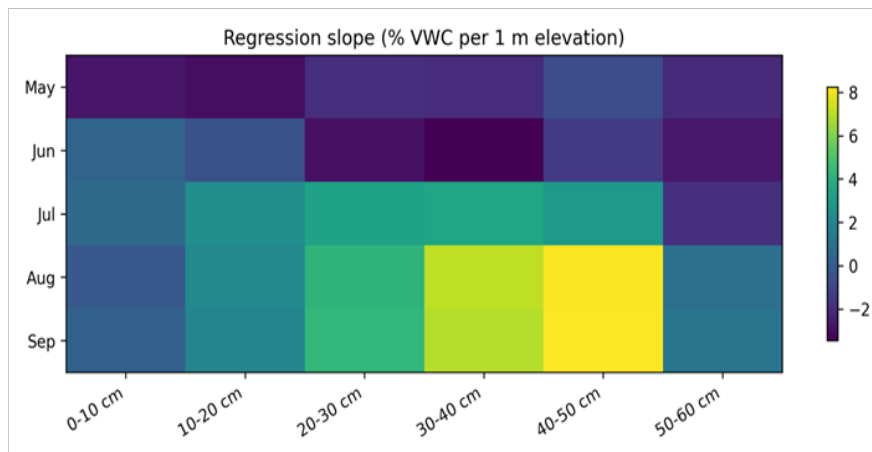


Figure 8 – Presents the linear regression slopes (b) linking elevation to monthly mean VWC for each depth horizon and month

Negative slopes dominate the early part of the growing season, indicating decreasing VWC with increasing elevation, with the largest effect observed in May at 10-20 cm ($b = -3.03$ % VWC per m; $R^2 = 0.90$). In June, the strongest negative responses occur in the deeper horizons (e.g., 50-60 cm: $b = -2.67$ % per m; $R^2 = 0.86$), consistent with a persistent elevation gradient in subsoil water storage during the transition to summer drying. In contrast, late-season slopes at intermediate depths (30-50 cm) become small and occasionally positive, implying only modest increases in VWC at higher elevations. Given the limited elevation range across the sensor network (130-133 m), even the largest estimated slopes translate to differences on the order of 6-9 percentage points across the field-scale relief, whereas most month-horizon combinations imply substantially smaller contrasts. Overall, the regression results reinforce that elevation effects are depth-specific and time-dependent, and that relief height alone is unlikely to serve as a standalone predictor of moisture status without accounting for co-varying site properties.

Conclusion

This study combined a UAV-derived digital elevation model (DEM) with continuous in-situ measurements from Sentek Drill & Drop probes to examine how modest relief variations in a large dryland field (Field 64) relate to soil moisture dynamics during the 2025 growing season. The hypsometric analysis confirms that the field is quasi-flat, with most of the area concentrated between 130 and 133 m above sea level, yet this seemingly small vertical range is sufficient to create discernible differences in the moisture regime when evaluated at appropriate depths and times.

Monthly depth profiles derived from probe telemetry show a clear vertical stratification of water content: near-surface layers (0-20 cm) exhibit the largest seasonal amplitude and rapid depletion during summer, whereas deeper horizons (40-60 cm) maintain higher and more stable VWC, consistent with their larger storage capacity and weaker coupling to short-term atmospheric demand. This depth-resolved behavior highlights the value of multi-horizon telemetry for interpreting root-zone conditions and for separating transient surface drying from longer-term subsoil water availability.

The elevation-moisture relationship is not monotonic through the season. Early in the season (May), higher-elevation positions were generally drier at several horizons, with statistically strong negative associations at 10-20 cm and 20-30 cm. During June-July, the negative elevation signal was most evident in the deeper layers (40-60 cm), indicating that topographic position may influence subsoil storage as the profile transitions into summer drying. By August-September, intermediate depths (30-50 cm) displayed

weak-to-moderate positive tendencies, while the shallow horizons remained inconsistent, suggesting that late-season moisture patterns may be governed by a combination of redistribution processes, soil heterogeneity, and management effects rather than elevation alone. Because the analysis is based on only six point locations and a narrow elevation span, elevation should be viewed as a proxy descriptor of local setting; co-varying factors such as texture, compaction, microrelief-driven runoff/run-on, and residue cover may contribute materially to the observed contrasts.

From an applied perspective, the results support using DEM products as part of a multi-layer diagnostic framework for precision agronomy, particularly when combined with in-situ sensing and remotely sensed moisture indicators (e.g., NDWI). Relief-derived zones can help stratify sampling and guide variable-rate decisions, but the present findings caution against treating elevation as a universal predictor across depths and months. Future work should extend the analysis to multiple years, increase the number of sensor locations, and incorporate additional terrain derivatives (slope, curvature, topographic wetness index) and soil covariates to better isolate causal drivers and improve predictive skill for field-scale moisture mapping in the dry steppe of Northern Kazakhstan.

Authors' Contributions

BR, AS: development of the research concept and design, conducting experiments, data analysis. BR: conducting laboratory studies, processing and interpretation of results, statistical analysis, manuscript writing. AS: conducting laboratory studies, analysis of the obtained data, manuscript editing. BR, AS: data processing consultation and verification. All authors have read and approved the final version of the article.

Information of funding

This research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan for 2024-2026 years (Grant No. AP23485181).

References

- 1 Astafyev, V., Ivanchenko, P., Kirkilevskiy, V. (2017). Effectiveness assessment of methods for moisture accumulation during winter precipitation in the arid steppe of Northern Kazakhstan. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(S4), 6821-6828. DOI: 10.36478/jeasci.2017.6821.6828.
- 2 Baktybekov, K. S., Aimbetov, A., Rakhimzhanov, B.K., Murat, A. (2020). Modeling of flood inundation for Zhabay River Basin in Central Kazakhstan Region. *Eurasian Physical Technical Journal*, 17(1), 157-162. DOI:10.31489/2020No1/157-162.
- 3 Beven, K. J., Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69. DOI: 10.1080/02626667909491834.
- 4 Brooks, R. H., Corey, A. T. (1966). Properties of porous media affecting fluid flow. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 92(2), 61-88. DOI: 10.1061/JRCEA4.0000425.
- 5 Dobrovolski, G. V., Balabko, P. N., Stasyuk, N. V., Bykova, E. P. (2011). Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences. *Arid Ecosystems*, 1, 119-124. DOI: 10.1134/S207909611103005X.
- 6 Wang, J., Huang, H., Ariyasena, H. H. S., Zhao, J., Zhang, X., Gao, X., Zhao, X., Zhao, Y. (2025). A UAV-based method for root zone soil moisture modeling of different farmland scale with grain and economic crops. *Agricultural Water Management*, 321, 109932. DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109932.
- 7 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). (2026). *Soil classification*. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/en/>.
- 8 Gardner, W. R. (1958). Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science*, 85(4), 228-232. DOI: 10.1097/00010694-195804000-00006.
- 9 Gedroiz, K. K. (1931). Exchangeable cations of the soil and the plant: I. *Soil Science*, 32(1), 51-64. DOI: 10.1097/00010694-193107000-00005.
- 10 Mantoglou, A., Gelhar, L. W. (1987). Stochastic modeling of large-scale transient unsaturated flow systems. *Water Resources Research*, 23(1), 37-46. DOI: 10.1029/WR023i001p00037.

- 11 Hugenholtz, C. H., Whitehead, K., Brown, O. W., Barchyn, T. E., Moorman, B. J., LeClair, A., Riddell, K.D.A., Hamilton, T. K. (2013). Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically derived digital terrain model. *Geomorphology*, 194, 16-24. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.03.023.
- 12 Klute, A. (1952). A Numerical Method for Solving the Flow Equation for Water in Unsaturated Materials. *Soil Science*, 73(2), 105-116. DOI: 10.1097/00010694-195202000-00003.
- 13 Кулешова, А. (2021). Почвы Казахстана. WORLD OF NAN. <https://world-nan.kz/blogs/v-kazakhstan-62-pashen-imeyut-nizkoe-soderzhanie-gumusa>.
- 14 Муромцев, Н.А., Семенов, Н.А., Анисимов, К.Б. (2016). Особенности влагопотребления и влагообеспеченности растений различных экологических групп. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*, 82, 71-87. DOI:10.19047/0136-1694-2016-82-71-87.
- 15 Oniga, V.E., Loghin, A.-M., Macovei, M., Lazar, A.-A., Boroianu, B., Sestras, P. (2024). Enhancing LiDAR-UAS derived digital terrain models with hierarchic robust and volume-based filtering approaches for precision topographic mapping. *Remote Sensing*, 16(1), 78. DOI: 10.3390/rs16010078.
- 16 Philip, J. R. (1957). The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Science*, 83(5), 345-357. DOI: 10.1097/00010694-195705000-00002.
- 17 Шейн, Е. В. (2016). Теоретические основы гидрологии почв в трудах А. А. Роде и современные подходы к описанию движения и равновесия. *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*, 83, 11-21. DOI: 10.19047/0136-1694-2016-83-11-21.
- 18 Terekhov, A., Muratova, N. (2002). Soils spring productive moisture reserve evaluation model for northern Kazakhstan on the basis of NOAA/AVHRR information. *Proceedings of SPIE*, 4542, 47-52. DOI: 10.1117/12.454202.
- 19 Stark, J. R., Fridley, J. D. (2022). Topographic drivers of soil moisture across a large sensor network in the USA. *Water Resources Research*, 59(7), e2022WR034315. DOI: 10.1029/2022WR034315.
- 20 Tauro, F., Porfiri, M., Grimaldi, S. (2016). Surface flow measurements from drones. *Journal of Hydrology*, 540, 240-245. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.06.012.
- 21 Whelan, B. M., McBratney, A. B. (2012). Downscaling for site-specific mapping. *In Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping*, 353-356. DOI: 10.1201/b12728-69.
- 22 Zaslavsky, D., Sinai, G. (1981). Surface hydrology: I Explanation of phenomena. *Journal of the Hydraulics Division (ASCE)*, 107(1), 1-16. DOI: 10.1061/JYCEAJ.0005591.
- 23 Zhang, D., Zhao, Y., Qi, H., Shan, L., Chen, G., Ning, T. (2024). Effects of micro-topography and vegetation on soil moisture on fixed sand dunes in Tengger Desert, China. *Plants*, 13(11), 1571. DOI: 10.3390/plants13111571.
- 24 Жумагулов, И.И. (2021). Влияние атмосферных осадков на урожайность яровой пшеницы и ячменя в сухостепной зоне Северного Казахстана. *Исследования, результаты*, 3(91), 28-36. DOI: 10.37884/3-2021/04.
- 25 FAO SOILS PORTAL. *Soil classification*. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/en/>

References

- 1 Astafyev, V., Ivanchenko, P., Kirkilevskiy, V. (2017). Effectiveness assessment of methods for moisture accumulation during winter precipitation in the arid steppe of Northern Kazakhstan. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(S4), 6821-6828. DOI: 10.36478/jeasci.2017.6821.6828.
- 2 Baktybekov, K.S., Aimbetov, A., Rakhimzhanov, B.K., Murat, A. (2020). Modeling of flood inundation for Zhabay River Basin in Central Kazakhstan Region. *Eurasian Physical Technical Journal*, 17(1), 157-162. DOI:10.31489/2020No1/157-162.
- 3 Beven, K.J., Kirkby, M.J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69. DOI:10.1080/02626667909491834.
- 4 Brooks, R.H., Corey, A.T. (1966). Properties of porous media affecting fluid flow. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 92(2), 61-88. DOI:10.1061/JRCEA4.0000425.
- 5 Dobrovolski, G.V., Balabko, P.N., Stasyuk, N.V., Bykova, E.P. (2011). Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences. *Arid Ecosystems*, 1, 119-124. DOI: 10.1134/S207909611103005X.

- 6 Wang, J., Huang, H., Ariyasena, H.H.S., Zhao, J., Zhang, X., Gao, X., Zhao, X., Zhao, Y. (2025). A UAV-based method for root zone soil moisture modeling of different farmland scale with grain and economic crops. *Agricultural Water Management*, 321, 109932. DOI: 10.1016/j.agwat.2025.109932.
- 7 Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). (2026). Soil classification. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/en/>
- 8 Gardner, W.R. (1958). Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science*, 85(4), 228-232. DOI: 10.1097/00010694-195804000-00006.
- 9 Gedroiz, K.K. (1931). Exchangeable cations of the soil and the plant: I. *Soil Science*, 32(1), 51-64. DOI: 10.1097/00010694-193107000-00005.
- 10 Mantoglou, A., Gelhar, L.W. (1987). Stochastic modeling of large-scale transient unsaturated flow systems. *Water Resources Research*, 23(1), 37-46. DOI:10.1029/WR023i001p00037
- 11 Hugenholtz, C.H., Whitehead, K., Brown, O.W., Barchyn, T.E., Moorman, B.J., LeClair, A., Riddell, K.D.A., Hamilton, T.K. (2013). Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically derived digital terrain model. *Geomorphology*, 194, 16-24. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.03.023.
- 12 Klute, A. (1952). A Numerical Method for Solving the Flow Equation for Water in Unsaturated Materials. *Soil Science*, 73(2), 105-116. DOI: 10.1097/00010694-195202000-00003.
- 13 Kuleshova, A. (2021). Pochvy Kazahstana. WORLD OF NAN. <https://world-nan.kz/blogs/v-kazahstane-62-pashen-imeyut-nizkoe-soderzhanie-gumusa.> [in Russ].
- 14 Muromcev, N.A., Semenov, N.A., Anisimov, K.B. (2016). Osobennosti vlagopotrebleniya i vlagooobespechennosti rastenii razlichnyh ekologicheskikh grupp. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 82, 71-87. DOI:10.19047/0136-1694-2016-82-71-87. [in Russ].
- 15 Oniga, V.-E., Loghin, A.-M., Macovei, M., Lazar, A.-A., Boroianu, B., Sestras, P. (2024). Enhancing LiDAR-UAS derived digital terrain models with hierarchic robust and volume-based filtering approaches for precision topographic mapping. *Remote Sensing*, 16(1), 78. DOI:10.3390/rs16010078.
- 16 Philip, J.R. (1957). The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Science*, 83(5), 345-357. DOI:10.1097/00010694-195705000-00002.
- 17 Shein, E.V. (2016). Teoreticheskie osnovy gidrologii pochv v trudah A.A. Rode i sovremennye podhody k opisaniju dvizheniya i ravnovesiya. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*, 83, 11-21. DOI:10.19047/0136-1694-2016-83-11-21. [in Russ].
- 18 Terekhov, A., Muratova, N. (2002). Soils spring productive moisture reserve evaluation model for northern Kazakhstan on the basis of NOAA/AVHRR information. *Proceedings of SPIE*, 4542, 47-52. DOI:10.1117/12.454202.
- 19 Stark, J.R., Fridley, J.D. (2022). Topographic drivers of soil moisture across a large sensor network in the USA. *Water Resources Research*, 59(7), e2022WR034315. DOI:10.1029/2022WR034315.
- 20 Tauro, F., Porfiri, M., Grimaldi, S. (2016). Surface flow measurements from drones. *Journal of Hydrology*, 540, 240-245. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.06.012.
- 21 Whelan, B.M., McBratney, A.B. (2012). Downscaling for site-specific mapping. *In Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping*, 353-356. DOI:10.1201/b12728-69.
- 22 Zaslavsky, D., Sinai, G. (1981). Surface hydrology: I Explanation of phenomena. *Journal of the Hydraulics Division (ASCE)*, 107(1), 1-16. DOI:10.1061/JYCEAJ.0005591.
- 23 Zhang, D., Zhao, Y., Qi, H., Shan, L., Chen, G., Ning, T. (2024). Effects of micro-topography and vegetation on soil moisture on fixed sand dunes in Tengger Desert, China. *Plants*, 13(11), 1571. DOI:10.3390/plants13111571.
- 24 Zhumagulov, I.I. (2021). Vliyanie atmosferynyh osadkov na urozhajnost' yarovoi pshenicy i yachmenya v suhostepnoi zone Severnogo Kazahstana. *Issledovaniya, rezul'taty*, 3(91), 28-36. DOI:10.37884/3-2021/04. [in Russ].
- 25 FAO SOILS PORTAL. *Soil classification*. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/en/>

Солтүстік Қазақстандағы агроалқаптарда жер бедері өзгерістігінің топырақ ылғалдылығына әсері

Рахимжанов Б., Сидорик А.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Кеңестік кезеңдегі жер ресурстарын жоспарлау жүйесінің нәтижесінде Солтүстік Қазақстандағы ірі агроалқаптар тарихи тұрғыда жер бедерінің ерекшеліктеріне емес, әкімшілік шекараларға сүйеніп бөлінген, бұл жартылай қуаң жағдайларда топырақ ылғалдылығының кеңістіктік әркелкілігін күшейтуі мүмкін. Зерттеудің мақсаты – БПЛА арқылы алынған жер бедері деректері мен in-situ датчиктерінің телеметриясын пайдаланып, өкілдік қара топырақты (чернозем) алқапта микрожер бедерінің топырақ ылғалдылығының таралуына әсерін сандық тұрғыда бағалау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу Қазақстан, Қостанай облысындағы № 64 сынақ алқабында (440 га) жүргізілді. Жоғары айырымды сандық жер бедері модельдері (СЖБМ) БПЛА фотограмметриясы (Mavic 2 Pro; 2024 ж. тамыз) негізінде жасалып, биіктік градиенттерін сипаттауға қолданылды. Sentek Drill & Drop типті алты зонд (0-60 см, 10 см қадам) биіктік диапазоны бойынша орнатылып, 2025 ж. Мамыр-қыркүйек аралығында әр 30 мин сайын көлемдік су мөлшерін (VWC) тіркеді; датчик телеметриясы сапалық бақылаудан өтіп, айлық орташа мәндерге агрегатталды. Биіктіктің әсері әр ай және әр тереңдік қабаты бойынша Пирсон және Спирмен корреляциялары, сондай-ақ ең кіші квадраттар әдісіндегі сызықтық регрессия арқылы бағаланды ($VWC = a + b \cdot \text{Биіктік}$).

Нәтижелер. Зондтар орналасқан нүктелердегі биіктік айырмасы шағын болғанына қарамастан (~3 м), айлық орташа ылғалдылық биіктікпен тұрақты түрде орташа байланыс көрсетті, әсіресе маусымның басында және терең қабаттарда. Пирсон бойынша статистикалық мәнді байланыстар ($p < 0,05$) мамыр айында 10-20 см ($r = -0,95$; $b = -3,03\% \text{ VWC/м}$; $R^2 = 0,90$), 20-30 см ($r = -0,91$; $b = -1,87\%/\text{м}$; $R^2 = 0,83$) және 50-60 см ($r = -0,86$; $b = -2,08\%/\text{м}$; $R^2 = 0,73$) қабаттарында байқалды. Маусымда мәнді әсер 40-50 см ($r = -0,86$; $b = -1,47\%/\text{м}$; $R^2 = 0,74$) және 50-60 см ($r = -0,93$; $b = -2,67\%/\text{м}$; $R^2 = 0,86$) қабаттарында сақталды, ал шілдеде 50-60 см қабатында ($r = -0,85$; $b = -1,82\%/\text{м}$; $R^2 = 0,72$) анықталды. Бұл төмен микро топографиялық позицияларда ылғалдың жүйелі түрде жоғары болатынын көрсетеді.

Қорытынды. БПЛА-дан алынған жер бедері метрикаларын тереңдік бойынша ажыратылған топырақ ылғалдылығы телеметриясымен біріктіру ірі далалық агроалқаптарда тамыр аймағындағы су қорының микро топографиялық бақылаушыларын анықтауға мүмкіндік береді. Анықталған «биіктік-ылғалдылық» градиенттері алқапшілік зонирлеуді, ылғал үнемдеу шараларын нысаналы жоспарлауды және Солтүстік Қазақстандағы қашықтан зондтау өнімдерін (топырақ ылғалдылығы) интерпретациялаудың тұрақтылығын арттыруды қолдайды.

Кілт сөздер: топырақ; ылғалдылық; жер бедері биіктігі бойынша сегментация; топырақ ылғалдылығы телеметриясы; агроалқаптарды БПЛА-мен сканерлеу; Солтүстік Қазақстан.

Влияние вариаций рельефа на влажность почвы на агрополях Северного Казахстана

Рахимжанов Б., Сидорик А.

Аннотация

Предпосылки и цель. В результате советской системы планирования землепользования крупные агрополя Северного Казахстана исторически формировались по административным границам, а не по особенностям рельефа, что в полусухих условиях может усиливать неоднородность почвенной влаги. Цель исследования – количественно оценить, как микрорельеф влияет на распределение влажности почвы в репрезентативном чернозёмном поле на основе БПЛА-производных данных рельефа и телеметрии in-situ датчиков влажности.

Материалы и методы. Исследование выполнено на тестовом поле № 64 (440 га), Костанайская область, Казахстан. Высокодетальные цифровые модели рельефа (ЦМР) получены по данным фотограмметрии БПЛА (Mavic 2 Pro; август 2024 г.) и использованы для описания градиентов

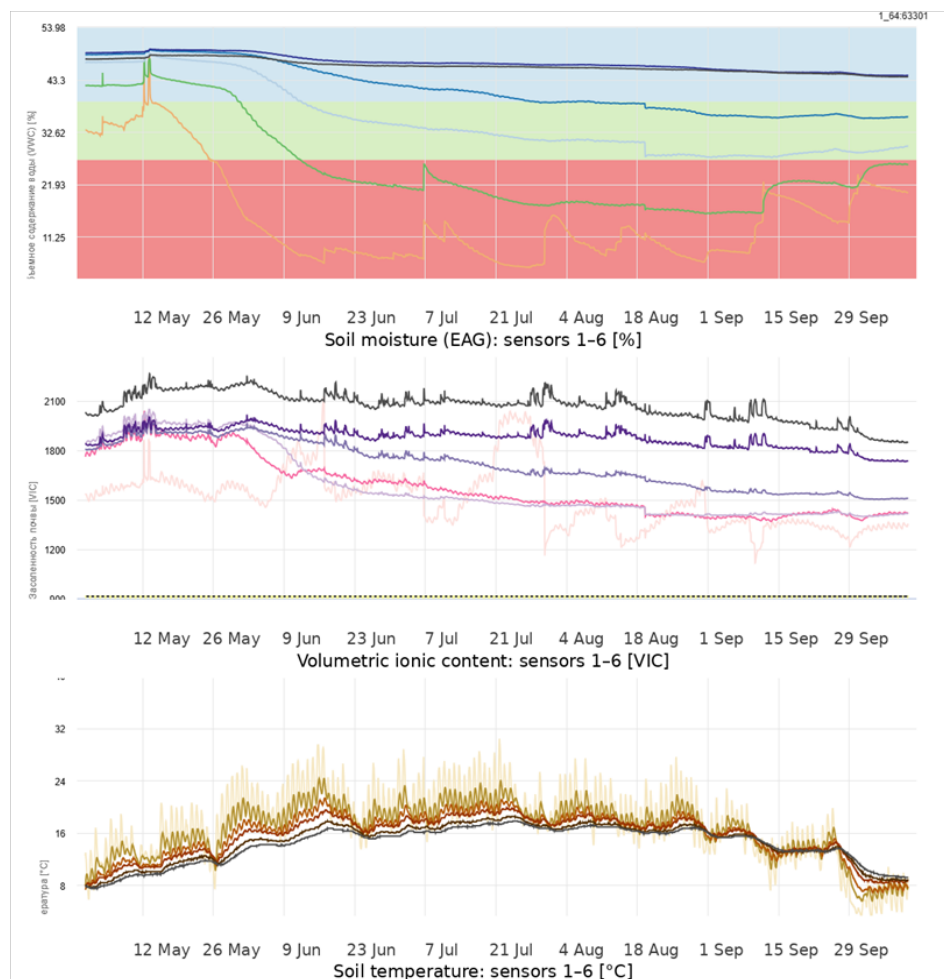
высоты. Шесть зондов Sentek Drill & Drop (0-60 см, шаг 10 см) были установлены в диапазоне высот и регистрировали объёмную влажность (VWC) с интервалом 30 мин в период май-сентябрь 2025 г.; телеметрические данные прошли контроль качества и были агрегированы до среднемесячных значений. Влияние высоты оценивали аналитически для каждого месяца и каждого горизонта по глубине с использованием корреляций Пирсона и Спирмена и линейной регрессии методом наименьших квадратов ($VWC = a + b \cdot \text{Высота}$).

Результаты. Несмотря на небольшой диапазон высот (~3 м в точках установки зондов), среднемесячная влажность почвы демонстрировала устойчивые умеренные связи с высотой, особенно в начале сезона и в более глубоких горизонтах. Статистически значимые зависимости по Пирсону ($p < 0,05$) выявлены в мае на глубинах 10-20 см ($r = -0,95$; $b = -3,03\%$ VWC на 1 м; $R^2 = 0,90$), 20-30 см ($r = -0,91$; $b = -1,87\%$ на 1 м; $R^2 = 0,83$) и 50-60 см ($r = -0,86$; $b = -2,08\%$ на 1 м; $R^2 = 0,73$). В июне значимые эффекты сохранялись на 40-50 см ($r = -0,86$; $b = -1,47\%$ на 1 м; $R^2 = 0,74$) и 50-60 см ($r = -0,93$; $b = -2,67\%$ на 1 м; $R^2 = 0,86$), а в июле – на 50-60 см ($r = -0,85$; $b = -1,82\%$ на 1 м; $R^2 = 0,72$), что указывает на систематически более влажные условия в пониженных микротопографических позициях.

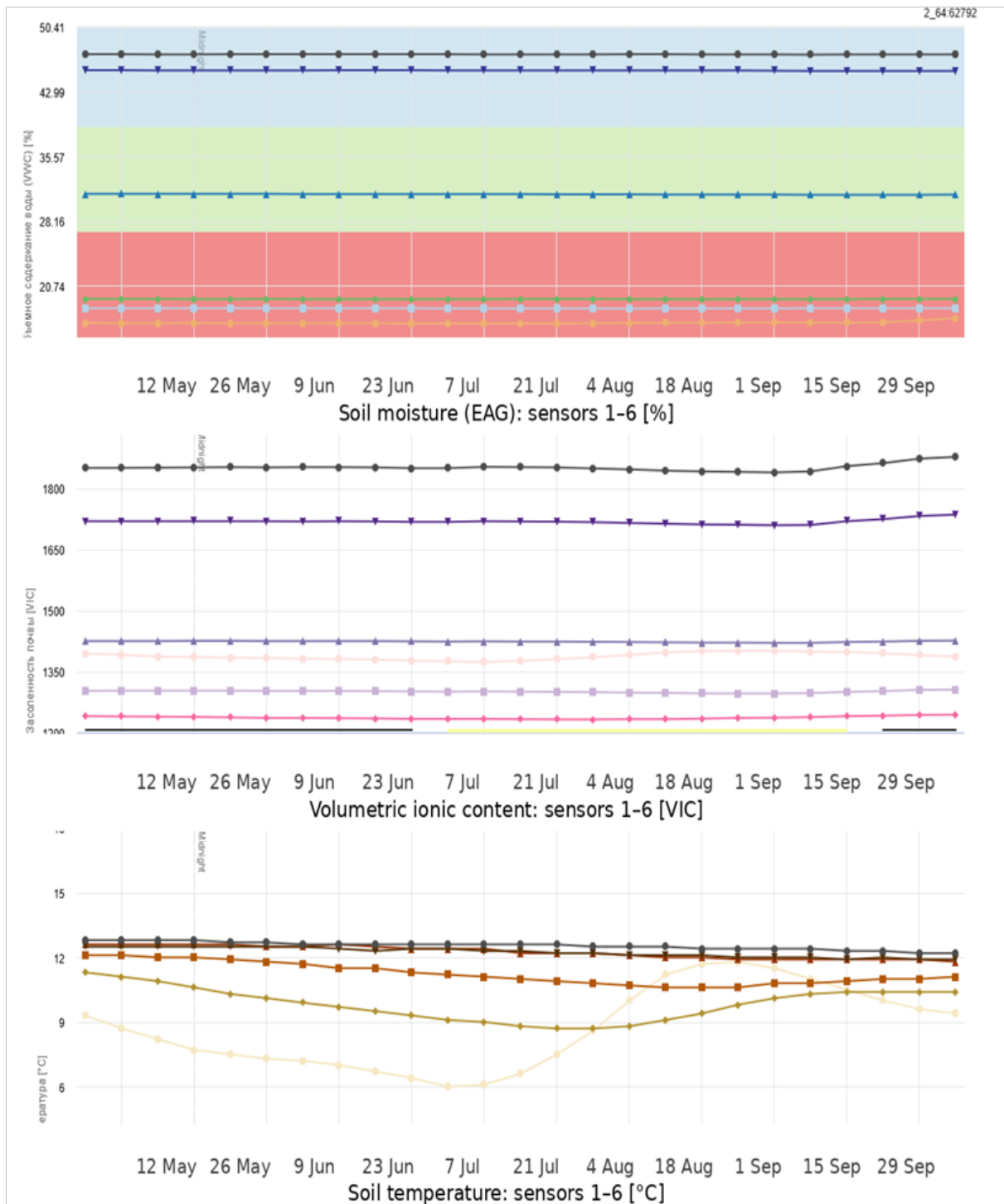
Заклучение. Интеграция метрик рельефа, полученных по данным БПЛА, с послыной телеметрией влажности почвы позволяет выявлять значимые микротопографические факторы, определяющие водообеспеченность корнеобитаемого слоя в крупных степных агрополях. Выявленные градиенты «высота-влажность» могут быть использованы для внутрислоевого зонирования, адресных влагосберегающих мероприятий и более корректной интерпретации спутниковых продуктов влажности почвы в Северном Казахстане.

Ключевые слова: почва; влажность; сегментация по высоте рельефа; телеметрия влажности почвы; БПЛА-съёмка агрополей; Северный Казахстан.

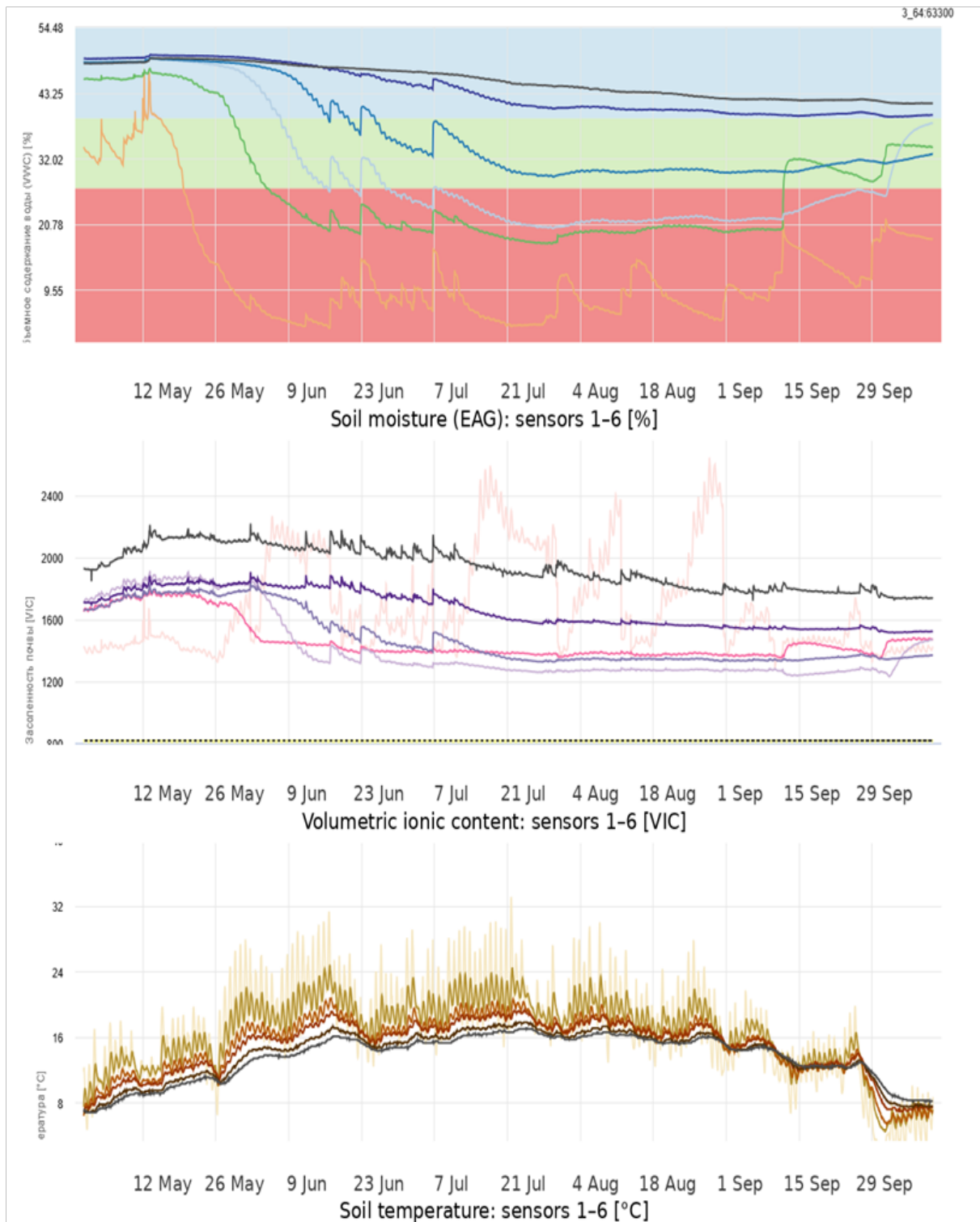
Appendixes (A-F) Sentek Soil Sensors telemetry



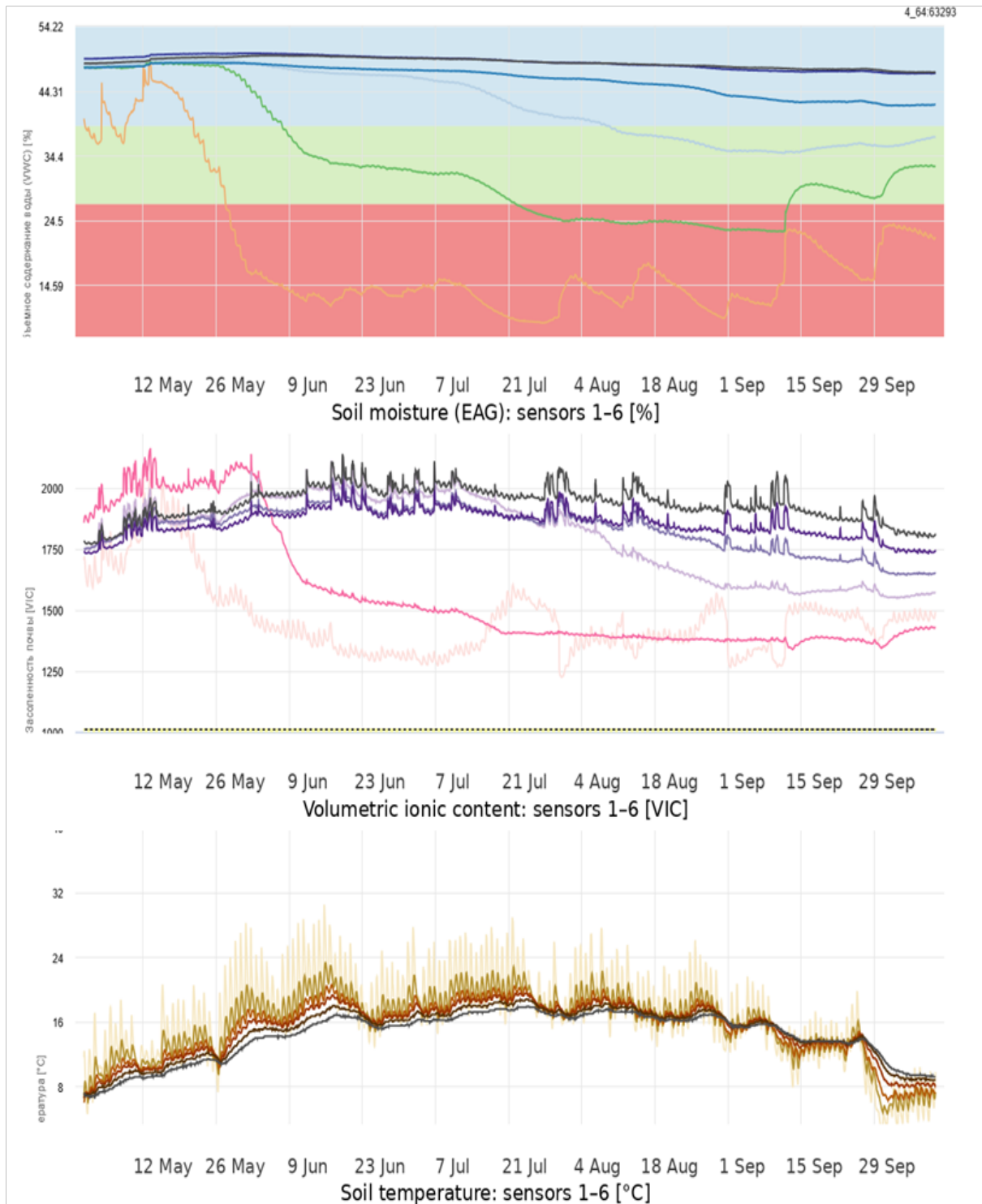
A-soil sensor telemetry of sensor # 1_64, May to September 2025



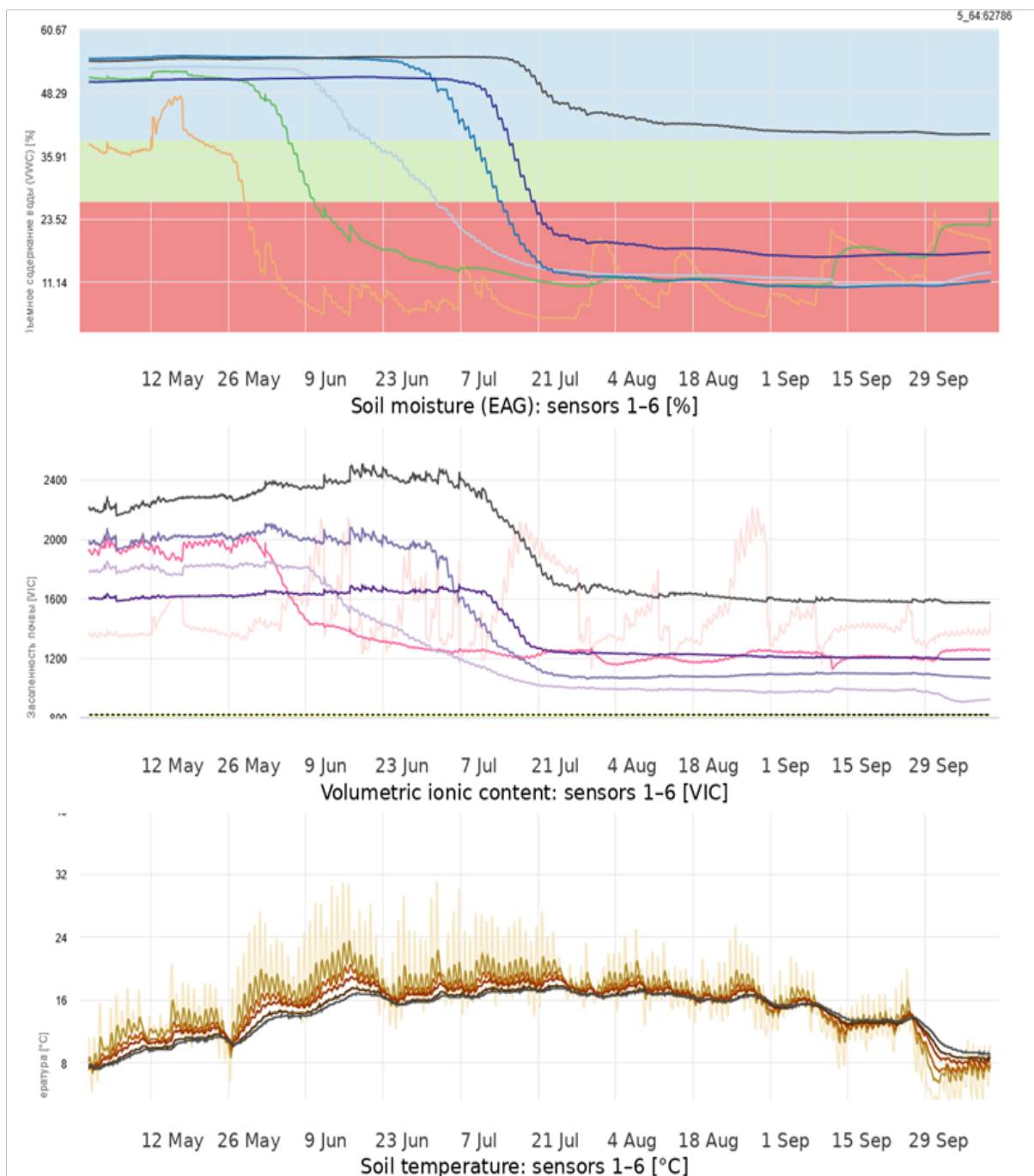
B-soil sensor telemetry of sensor # 2_64, May to September 2025



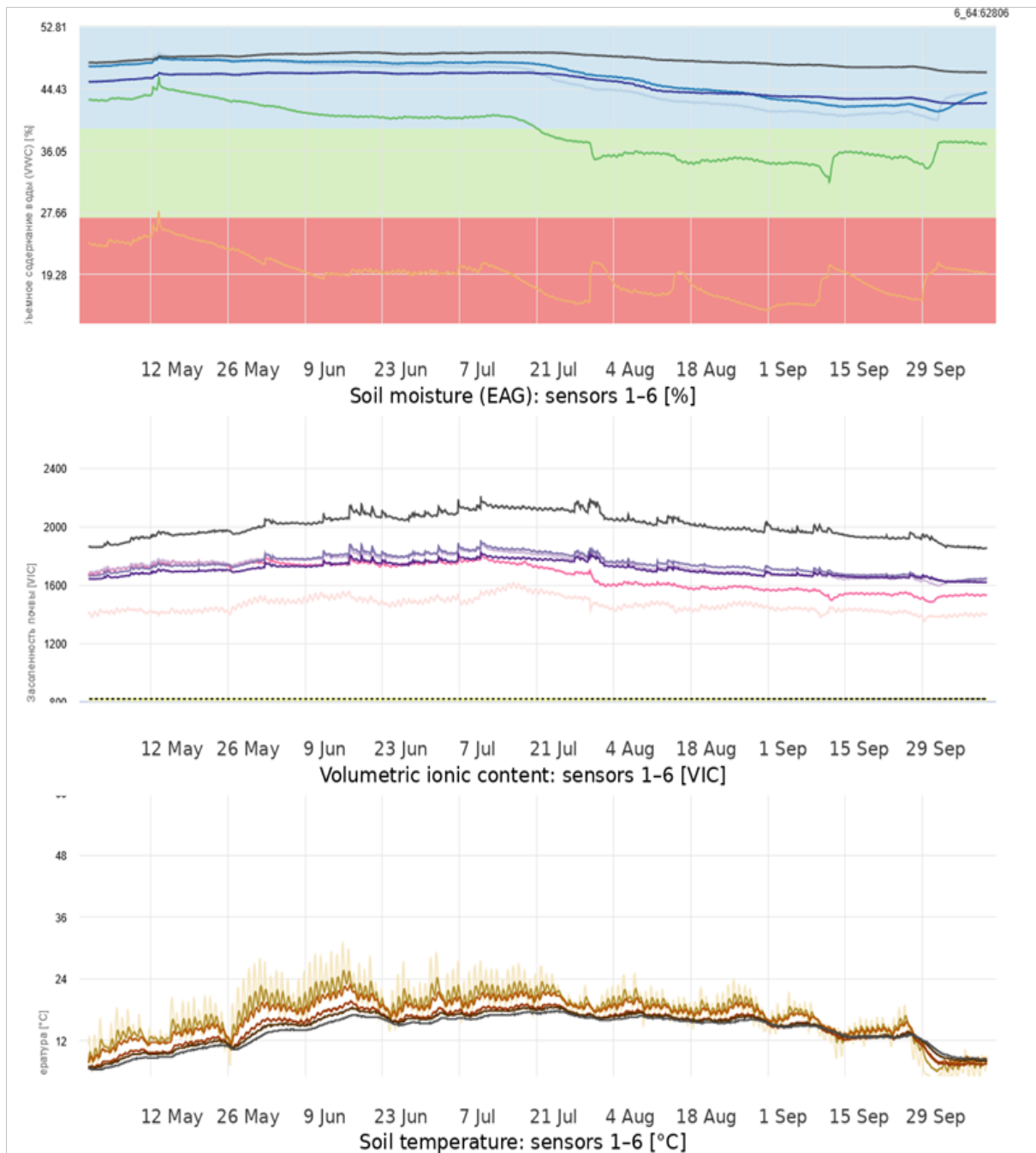
C-soil sensor telemetry of sensor # 3_64, May to September 2025



D-soil sensor telemetry of sensor # 4_64, May to September 2025



E-soil sensor telemetry of sensor # 5_64, May to September 2025



F-soil sensor telemetry of sensor # 6_64, May to September 2025

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-144-155. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/ 10.51452/eaj.2026.1(129).2125

ЭОЖ 620.3:63:578.226(043.3)

Зерттеу мақалы

Нанобөлшектер – өсімдік ұлпаларын *in vitro* культивациялеу технологиясының элементі

Жагипарова М.Е. , Аникина И.Н. 

Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

Корреспондент-автор: Жагипарова М.Е.: e-mail: maira010579@mail.ru

Бірлескен автор: (1: ИА) anikina.i@mail.ru

Қабылданған күні: 14.01.2026 **Қабылданды:** 12.03.2026 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Өлшемі, түрі және морфологиясы әртүрлі нанобөлшектер өсімдік шаруашылығындағы көптеген мәселелерді шешуге арналған тиімді препараттар ретінде, атап айтқанда тыңайтқыштар, өсуді реттегіштер және пестицидтер ретінде өз тиімділігін көрсетті. Нанобөлшектер өсу үдерісіне ынталандырушы әсер етіп, су мен қоректік элементтердің баяу босап шығуына ықпал етеді. Сондай-ақ олардың биоцидтік қасиеттері өсімдік ұлпалары культурасында қолданылуына негіз болды.

Материалдар мен әдістер. Шолуда әртүрлі элементтердің нанобөлшектерін модификацияланған қоректік орталардың компоненттері ретінде қолдануға арналған жарияланымдар талданып, түрлі өсімдік дақылдарының микроклондық көбейту тиімділігін арттыру рөлі қарастырылды. Зерттеу барысында нанобөлшектердің өсімдіктердің өсуі мен морфогенезіне тигізетін екіжақты әсері (өсуін ынталандыру және фитотоксичтілік көріністері) *plant tissue culture* әдісі негізінде *in vitro* жағдайында бағаланды. Тәжірибелер стерильді қоректік ортада жүргізіліп, морфометриялық және физиологиялық көрсеткіштер кешенді түрде талданды.

Нәтижелер. Нанобөлшектердің (НБ) өсімдік жасушаларымен өзара әрекеттесу механизмдері, нанотыңайтқыштардың дәстүрлі формалармен салыстырғандағы артықшылықтары және НБ-дің әртүрлі түрлерін (металдар, олардың оксидтері, кремний, көміртекті материалдар) қоректік орталардың компоненттері ретінде, соның ішінде контаминация қаупін төмендету үшін пайдалану мүмкіндіктері қарастырылды. Тақырып бойынша жүргізілген шолу *in vitro* жағдайындағы өсімдік ұлпалары культурасында нанобөлшектердің көптеген артықшылықтарын айқындай отырып, сонымен бірге өсімдік биотехнологиясында наноматериалдарды қолдану дозалары мен тәсілдерін оңтайландыру үшін қосымша зерттеулердің қажеттігін көрсетті.

Қорытынды. Нанобөлшектерді пайдалану негізінде өсімдіктерді клондық микрокөбейту әдісін жетілдіру үлкен практикалық маңызы бар. Өйткені бұл биотехнологиялық тәсілдер арқылы жаңа сорттар мен формаларды қалыптастыру жұмыстарын неғұрлым тиімді жүргізуге, сондай-ақ өсімдіктердің генқорын сақтауға және бастапқы тұқым шаруашылығына арналған материалды көбейту қарқынын арттыруға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: *in vitro*; микроклондық көбейту; нанобөлшек; қоректік орта; өсу.

Кіріспе

Қазіргі ауыл шаруашылығы мен биотехнологияда зор әлеуетке ие нанобөлшектерді қамтитын препараттар кеңінен қолданыс табауда.

Нанобөлшектер – өлшемі 1-ден 100 нанометрге дейінгі бөлшектер. Олар бірегей қасиеттерге ие және медицина, электроника, катализ және антимикробтық материалдар сияқты әртүрлі салада кеңінен пайдаланылады. Өлшемінің кішілігіне байланысты нанобөлшектердің көлемге

салыстырғандағы беттік ауданы жоғары, бұл оларды реакцияға қабілетті етіп, басқа заттармен өзара әрекеттесуін күшейтеді [1].

Нанобөлшектердің физикалық, химиялық және биологиялық қасиеттері олардың өлшеміне, пішініне, құрылымына және беткі қабатының ерекшеліктеріне байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Осы ерекшеліктері оларды әртүрлі ғылыми зерттеулерде және технологиялық үдерістерде тиімді қолдануға мүмкіндік береді. Қазіргі кезде нанобөлшектер ауыл шаруашылығы мен өсімдік биотехнологиясында да кеңінен зерттеліп келеді.

Экология мен биомедицина саласындағы нанобөлшектердің пайдалы қасиеттері жақсы танымал, бұл олардың ерекше физика-химиялық сипаттамаларымен, каталикалық тиімділігімен, фотохимиялық тұрақтылығымен және биологиялық сәйкестік қасиеттерімен түсіндіріледі [2]. Практикалық мақсаттар үшін көбіне нанобөлшектердің абсолюттік өлшеміне қарағанда олардың монодисперстілік дәрежесінің жоғары болуы маңызды, өйткені бөлшектердің өлшем бойынша тар үлестірімі кезінде қасиеттердің болжамдылығы мен қайталанымдылығына қол жеткізуге болады. *R. Liu* және *R. Lal* авторлары бөлшектердің өлшемі жасуша қабырғасы тесіктерінің (5-тен 20 нм дейін) өлшемінен кіші болған жағдайда нанобөлшектердің жасуша қабырғасының электрлі құрылымдары арқылы өсімдік жасушаларына тікелей ене алатынын көрсетті. Авторлардың пікірінше, нанобөлшектермен тасымалданатын қоректік заттарды пайдалану және цитоплазмамен одан арғы өзара әрекеттесу өсімдіктің тамыр жүйесі арқылы су-топырақ ерітіндісінде нанобөлшектердің еруі нәтижесінде қоректік элементтердің сіңірілу механизмдеріне жатады. Басқаша айтқанда, нанобөлшектер ерітіндіде жай ериді және қоректік заттарды ерігіш иондар түрінде босатады [3].

Сонымен бірге нанобөлшектердің әртүрлі өсімдік түріне әсері өсу кезеңіне, өсімдікке әсер ету тәсілі мен ұзақтығына байланысты едәуір өзгеруі мүмкін және НБ-дің формасына, өлшеміне, химиялық құрамына, концентрациясына, беттік құрылымына, агрегациясына және еруіне тәуелді [1, 3, 4].

Түрі, өлшемі және морфологиясы әртүрлі нанобөлшектер ауыл шаруашылығында тек тыңайтқыштар ғана емес, сонымен қатар өсуді реттегіштер мен пестицидтер ретінде де әлеуетті агенттер деп саналады. НБ өсімдіктердің өнімділігін арттыруда ынталандырушы әсер көрсетеді, себебі олар тұқымның өнуін жеделдетеді, судың және тыңайтқыштардың тиімді дозасының баяу босап шығуына ықпал етеді, ал нанокапсулалар гербицидтерді жеткізу және зиянкестермен күресу үшін пайдаланылады [5, 6].

НБ-дің жоғары сатыдағы өсімдіктерге әсерін зерттегенде әдебиеттерде қайшылықты нәтижелер келтіріледі: кейбір авторлар теріс әсерді көрсетсе, басқалары ынталандырушы әсерді айтады, ал үшіншілері мүлде әсердің жоқтығын тіркеген [7, 8].

Зерттеліп отырған мәселе бойынша АҚШ, Еуропа және Таяу Шығыс елдері, Қытай мен Үндістан зерттеушілерінің жарияланымдарында өсімдік экстракттарын пайдалана отырып мырыш оксиді, мыс және мыс оксиді, темір және темір оксиді, сондай-ақ марганец және марганец оксиді НБ-нің биосинтезі сипатталған, әрі аталған металдар мен олардың оксидтерін нанотыңайтқыштар және өсімдік шаруашылығына арналған препараттар ретінде қолдану жөнінде деректер берілген [9]. Металдар мен олардың оксидтерінің нанобөлшектерін тыңайтқыш ретінде қолдану, тыңайтқыш ретінде пайдаланылатын кәдімгі қосылыстармен салыстырғанда, неғұрлым тиімді екені көрсетілген [7].

Г.Ю. Рабинович пен *Н.А. Любимова* нанобөлшектерді өсімдік шаруашылығына арналған препараттар ретінде қолдану және олардың өсімдік ағзасына әсерін зерттей отырып, металдардың және олардың оксидтерінің нанобөлшектерін тыңайтқыш ретінде пайдалану, тыңайтқыш ретінде қолданылатын кәдімгі қосылыстармен салыстырғанда, неғұрлым тиімді екенін көрсетті. Авторлар мұны нанобөлшектердің өсімдік мембранасынан оңай өтуімен және дәстүрлі аналогтармен салыстырғанда өсімдіктер үшін қолжетімді формаға жеңілірек ауысуымен түсіндіреді. Сонымен қатар, жапырақтарда хлорофилл мөлшері артады, сондай-ақ кейбір биохимиялық үдерістер өзгеріп, мысалы, антиоксиданттық ферменттердің жиналуы өсімдіктердің стресс-төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Нанобөлшектердің өсімдікке оң әсері модельдік өсімдіктердің тамырлары мен өркендерінің ұзаруында және өскіндер биомассасының көбеюінде байқалды [10].

М. Panigrahy әріптестерімен көміртекті НБ-дің күріш өсімдігіне әсерін зерттеу барысында өңдеу өркен ұзындығының, тамыр саны мен ұзындығының, тұымжарнақтың ауданының, хлорофилл құрамы мен жалпы қант мөлшерінің артуына әкелетінін анықтады. Ересек өсімдіктерде бұл өсімдік бойының ұзаруына, бір өсімдікке шаққандағы өнімді өркендер санының көбеюіне, қалыптандырылған вегетациялық индекс пен өнімділіктің артуына себеп болды. Көміртекті нанобөлшектердің молекулалық механизм бойынша әсерін зерттегенде фитохром В транскриптінің айтарлықтай басылуы анықталды, бұл олардың өсімдіктердің фотосинтетикалық сигналдануына ықпал ету мүмкіндігін көрсетеді [11].

Материалдар мен әдістер

Жоғарғы сатыдағы өсімдіктердің ұлпа культурасы әртүрлі заттарды, соның ішінде нанобөлшектерді, сынақтан өткізу үшін қолайлы модель болып табылады, осыған байланысты нанобөлшектердің культуралық өсімдіктерге әсерін зерттеу бағыты үлкен қызығушылық тудырады [12].

Соңғы уақытта көптеген зерттеулерде өсімдіктердің микроклондық көбейтуде нанобөлшектерді қолданудың жоғары әлеуеті көрсетілді [12, 13].

НБ өсімдік жасуша культурасында оң әсерін дәлелдеді және осыған байланысты өсімдік биотехнологиясының әртүрлі аспектілеріне, оның ішінде жасушалық мәдениеттерді дезинфекциялау әдістеріне, каллустың дифференциациясына, генетикалық трансформацияларға, соматондық вариацияларға және екінші ретті метаболиттер өндірісіне елеулі ықпал ете алады [12, 13].

Гусев және т.б. зерттеулерінде металл негізіндегі нанобөлшектерді ағаш өсімдіктерін микроклондық көбейтуге арналған модификацияланған орталардың құрамында пайдалану қарастырылды. Қоректік орталарды модификациялау үшін Ag және CuO НБ-дің алынған су коллоидты су ерітінділері 0,1-ден 0,0001 г/л концентрацияларда пайдаланылды. Екі айлық культивациядан кейін тіндік культурасындағы өсімдіктер меристемаларының өсу үдерістеріне нанобөлшектер ерітінділерінің оң әсері байқалды. Зерттеулерде *Populus alba* пен *Populus × euramericana* будан формасының микроклондарының өміршеңдігі нанобөлшектер қоспай дайындалған қоректік ортамен салыстырғанда 20-10% жоғарылағаны көрсетілді, бұл тәсілдің болашағын көрсетеді [14].

Металл нанобөлшектерінің антимикробтық қасиеттері ерекше қызығушылық тудырады [9, 15]. Металл нанобөлшектерінің бактерияға қарсы белсенділігін зерттеуге бағытталған көптеген жұмыстар байланыспаған металл нанобөлшектерінің бактерия бетінің сыртқы мембранасының еруіне әсер ететінін көрсетті. Сонымен қатар, байланыспаған металл оксиді нанобөлшектері белсенді оттегі түрлерін туындататын тотығу стресін шақыратыны анықталды, бұл бактериялардағы жасушалық құрылымдардың бұзылуына және олардың өміршеңдігінің төмендеуіне әкелетін келеңсіз үрдіс болып табылады [15, 16].

Бұл бағытта ең кең таралғаны – Ag нанобөлшектері. Олардың тек бактериялар мен саңырауқұлақтарға ғана емес, сонымен қатар вирустарға қарсы да тамаша антимикробтық қасиеттерге ие екені дәлелденген [17, 18]. Ag НБ өзінің әсерін бактериялық мембраналарда перфорациялар мен тесіктердің индукциясы арқылы білдіреді, бұл кезде метаболизм үшін маңызды жолдар бұзылып, соның нәтижесінде микроб жасушалары тіршілік жояды. Антимикробтық әсер басқа нанобөлшектерге қатысты да расталған. Мысалы, *Zhou et al.* ZnO-NP-тің қарсымикробтық агент ретінде тиімділігін көрсетті [2].

Өсімдік ұлпаларының *in vitro* культурасында қайталама контаминациямен күресу үшін нанобөлшектерді пайдалану зор қызығушылық туғызады, өйткені бұл мәселе ғылыми және өндірістік зертханалар үшін үлкен проблема болып табылады. Нанобөлшектердің биоцидтік агенттер ретінде тиімділігі бірнеше рет дәлелденген. Мысалы, TiO₂, Bi₂O₃, FeO, MnO₂, CuO, Ag₂O, Al₂O₃ нанобөлшектерінің қарсы микробтық белсенділігі медицинада тәжірибеде қолданылып жүр. Нанобөлшектерді өсімдік мәдениеттерінің *in vitro* микробтық контаминанттарымен күресте пайдалану клондық микрокөбейту саласында жаңа мүмкіндіктер ашады [16]. *In vitro* культурадан микробтарды жою, әсіресе ағаш өсімдіктері туралы сөз болғанда, өте үлкен мәселе, себебі олар

ішкі инфекцияны жинақтауға бейім. Нанобөлшектерді қолдану стерилизация протоколына енгізу кезінде де, сондай-ақ Мурасиге-Скуг қоректік ортасының құрамына қосқан кезде де оң әсер көрсеткен.

M.K. Sarmast және т.б. *Araucaria excelsa* экспланттарының бетін стерильдеуден кейін 200 мг/л AgNPs ерітіндісіне 180 минут бойы батыру ластану деңгейін 61,5%-дан 11,3% дейін төмендеткенін хабарлады. Мәдени ортаға 400 мг/л AgNPs енгізу ластануды 81,25%-дан 18,75% дейін азайтты [19]. Сондай-ақ 100 және 150 мг/л Ag NP қолдану - әрі батыру арқылы, әрі MS ортасына қосу арқылы - бадам×шабдалы буданының телітамырларында ішкі және сыртқы ластануды айтарлықтай төмендететіні анықталды [20].

M.N. Helaly және авторлар 80% NaOCl, 95% EtOH және 0,1% HgCl₂ қолданылған 15 минуттық беткі стерильдеу кезінде 3 жылдық банан өркендерінен алынған өркен ұштары микробтық ластануды жоя алмағанын хабарлады. MS ортаға 100 мг/л Zn NPs немесе ZnO NPs енгізу ластанудан таза мәдениеттер алуға алып келді [21]. Спинозо-Кастильо және т.б. MS ортасы 50-200 мг/л Ag NP-пен байытылғанда *Vanilla planifolia* өркендері мәдениеттерінде ластанудың нөлдік деңгейде болғанын хабарлады [22].

In vitro культурасы *in vivo* жағдайына көшіру кезеңінде нанобөлшектерді қолдану үлкен мүмкіндік ашады. Оларды пайдалану культуралық өсімдіктердің жерсіну пайызын арттыратыны анықталған: көкжидекті микрокөбейту кезінде AgNP қосу көшіріп отырғызудан кейін өркендердің көбею жылдамдығын жақсартты, бұл культуралық өсімдіктердің бейімделу қасиеттерінің артқанын көрсетеді [23]. Бақылау өсімдіктерімен (44,44%) салыстырғанда, күміс нанобөлшектерінің әсеріне ұшыраған өсімдіктердің өміршеңдігі едәуір жоғары болды (93,65%).

Күміс нанобөлшектерінің *in vitro* ұлпа мәдениетіне оң әсерінің мысалы ретінде экспланттарды дезинфекциялау бойынша басқа эксперимент нәтижелерін де келтіруге болады [16, 17]. Бірқатар зерттеулерде НБ-дің каллус индукциясына, регенерацияға және өсімдік өркендерінің өсуіне оң әсері көрсетілген. *A. Gouran* және т.б. асептикалық жағдайда *Tecomella undulata* өсудің қасиеттеріне 5-80 мг/л концентрациядағы күміс НБ-дің жеке өзі немесе 6-бензиламино-пуриин және индолсірке қышқылымен (индолуксусная кислота) біріктіріліп әсерін бағалады. Экспланттар 10% Слогох қолданылып 7-8 мин бойы беткі стерильдеуден өткізілді. Нәтижелер MS ортаға 10 мг/л Ag НБ қосу орташа жаңа өркендер санын, өркен түзетін экспланттардың пайызын, сондай-ақ НБ-дің этилен түзілуін тежеуші әсері есебінен өсімдіктердің өміршеңдігін арттырғанын көрсетті. MS ортасы 60 мг/л Ag НБ, 2,5 мг/л 6-бензиламинопуриин және 0,1 мг/л индолсірке қышқылымен байытылғанда *T. undulata* түйіндік экспланттарын культивациялау индуцирленген өркендердің ұзындығы мен түзілген өркендер пайызын айтарлықтай арттырды [24].

Mentha longifolia өсімдіктерін клондық микрокөбейту кезінде модификацияланған MS ортаға 0,5 мг/л НБ Cu және 0,8 мг/л НБ Со қосу өсімдіктердің биіктігі мен өсу индексін 45-48,4%, буынаралық саны 29,4-33,9%, өркен саны 55,6-66,2% арттырды, ал көбейту коэффициенті 30-40% болды [17]. *A. Gouran* және авторлар НБ CuO-ны 10 мг/л концентрацияда қосу күріш мәдениеттерінде органогенез жылдамдығын 94% дейін арттырғанын хабарлады. Авторлар өсімдік ұлпа мәдениеттеріндегі микробтық ластануды жоюдағы НБ тиімділігі олардың түріне және ұлпалардағы өлшемдік үлестіріміне тәуелді екенін атап өтті.

Зерттеулердің перспективасы бағыттарының бірі – микроклондық көбейтудің тиімділігін арттыру мақсатында (мысалы, MS негізіндегі) модификацияланған қоректік орталарға кремний нанобөлшектерін қосу. Кремний нанобөлшектері картоптың *in vitro* мәдениеттерінің өсуі мен дамуына оң әсер етіп, морфогенезді, стрестерге төзімділікті және өсімдіктердің жалпы физиологиялық жай-күйін жақсарты алады.

Кәрзеңке және т.б. *in vitro* жағдайында селен (Se) нанобөлшектерінің, кремний диоксиді (SiO₂) нанобөлшектерінің және трикальцийфосфатының (Ca₃(PO₄)₂) микрожапырақшалардың (*Chrysanthemum × morifolium* Ramat.; *Ficus carica* L.; *Fragaria × ananassa* Dushesne; *Lamium glaberrimum* K. Koch Taliev және *L. Rosa* өсуі мен дамуына әсерін зерттеді. Экспланттарды культивациялау әртүрлі концентрациядағы НБ қосылған Мурасиге-Скуг (MS) ортасында жүргізілді. Аталған зерттеулерде НБ-дің *in vitro* морфогенезге әсері зерттелген дақылдың генотипіне, қолданылған НБ түрі мен концентрациясына байланысты әрқелкі екені анықталды. Se НБ бақ хризантемасының, інжірдің және *Lamium glaberrimum*-нің микрожапырақшаларының

өсуі мен жапырақ түзуіне оң әсер ететіні көрсетілді. Se НБ бар ортада өсірілген өсімдіктердің жапырақтарындағы хлорофилл а және b мөлшерін талдау бақылау және тәжірибелік нұсқалар арасында елеулі айырмашылық көрсетпеді. Ерекше жағдай ретінде құлпынай мен раушан атап өтілді: қоректік ортадағы 0,5 мг/л Se НБ концентрациясы құлпынайда хлорофилл а/b мәндерін 2,079/0,618 мг/г 1,272/0,293 мг/г, ал раушанда 3,125/0,896 мг/г 1,76/0,453 мг/г дейін төмендетті. SiO₂ НБ-дің 4,0 және 5,0 мг/л концентрациялары інжір экспланттарында адвентивті өркен түзілуіне оң әсер етті. Зерттелген ТКФ НБ концентрациялары өсімдіктердің габитусына әсер еткенімен, өркен түзілуін ынталандырмады. Сонымен бірге, зерттеуде қарастырылған Se, SiO₂ және Ca₃(PO₄)₂ НБ концентрациялары зерттелген дақылдарда өркен түзілуінің индукциясына елеулі әсер етпейтіні анықталды.

Нәтижелер және талқылау

Өсімдіктердің микроклондық көбейтуі нанобөлшектердің өсімдіктердің физиологиялық үдерістеріне, морфологиялық өзгерістеріне және өсімдіктер үшін уыттылықтың бар-жоқтығына әсерін зерттеу үшін пайдаланылуы мүмкін [12, 13].

Осындай технологияларды қолдану арқылы алынған күміс нанобөлшектерін пайдалану бағыттарының бірі – өсімдік өсуін реттейтін жаңа препараттарды әзірлеу. Белоруссиялық зерттеушілер М.А. Фомина мен А.О. Черныш 0,1 және 0,3 мг/л концентрацияларында жүргізген тәжірибе нәтижелері бойынша, бақылаумен салыстырғанда, күміс нанобөлшектерінің ынталандырушы әсерін анықтады [25].

Spiraea salicifolia өсімдігін құрамында 0,1 мг/л нанобөлшектер бар ортада культивациялау кезінде өсу процестерінің статистикалық тұрғыдан дәлелді стимуляциясы байқалды; бұл әсер МС ортасында тіркелді. Нанобөлшектер тамыр түзуге жетерліксіз әсер етті. Сынақталған ең жоғары концентрацияларда (100 мг/л және 300 мг/л) Ag НБ *Spiraea salicifolia* культурасының өсуін тежеді. Әртүрлі орталарда *Spiraea salicifolia* өсуін салыстыру нәтижесінде мынадай заңдылық байқалды: өсуінің бастапқы кезеңінде WPM ортасында өсірілген микрокесінділер ұзынша өркендермен сипатталды, ал МС ортасында өсіргенде өркендердің ұзаруы байқалмады. Дегенмен бұл айырмашылық 30 тәулікке қарай іс жүзінде жойылып, экспланттар бір-бірінен аз ғана ерекшеленді [26]. Талдау нәтижесінде авторлар төмен концентрацияларда нанобөлшектердің ынталандырушы, ал жоғары концентрацияларда тежеуші әсері туралы қорытынды жасады. Әдеби деректерге сүйене отырып, күміс нанобөлшектері ағаш өсімдіктері кесінділерінің төзімділігі мен тамырлануын арттырудың тиімді құралы бола алатыны, *in vitro* жағдайында өсімдіктерді зақымдайтын контаминациялаушы инфекцияларға қарсы биоцидтік препарат ретінде әрекет ете алатыны анықталды.

Бірқатар зерттеулерде күміс нанобөлшектерінің өсімдік жасушаларындағы антиоксиданттық жүйеге, ферменттердің белсенділігіне және фотосинтетикалық аппараттың жұмысына әсер ететіні көрсетілген. Төмен концентрацияларда олар жасушалық метаболизмді белсендіріп, өркендердің түзілуін және биомассаның жиналуын ынталандыруы мүмкін. Ал жоғары концентрацияларда реактивті оттегі түрлерінің шамадан тыс түзілуіне байланысты жасушалық стресс туындап, өсу процестері баяулайды немесе толық тежелуі мүмкін. Сондықтан нанобөлшектердің концентрациясын дұрыс таңдау микроклондық көбейту технологияларында маңызды факторлардың бірі болып саналады.

Күміс нанобөлшектерін қолдану өсімдіктердің *in vitro* культурасында өсуді реттеу, регенерацияны арттыру және микробтық контаминацияны төмендету мақсатында перспективалы бағыт ретінде қарастырылады. Дегенмен олардың өсімдіктерге ұзақ мерзімді әсерін, мүмкін болатын фитоуыттылығын және әртүрлі өсімдік түрлеріне тән жауап реакцияларын тереңірек зерттеу қажет.

Чжао Хуэй, Лю Минь, Ю. Чэнь және т.б. металдар нанобөлшектерін пайдаланып өсімдіктерді өсіру тәсілін және оны іске асыруға арналған арнайы қоректік ортаны сипаттады. Өнертабыстың мәні мынада: қоректік ортада микроэлементтердің дәстүрлі, еритін тұздар түріндегі формалары (мысалы, темір, мыс немесе мырыш сульфаттары) сәйкес металдардың электрондық бейтарап формадағы нанобөлшектерімен алмастырылады [27]. Бұл шешім қоректік ортаның уыттылығын

едәуір төмендетуге, микроэлементтердің өсімдіктермен сіңірілу тиімділігін арттыруға және физиологиялық үдерістерді белсендіруге мүмкіндік береді. Нанобөлшектер зарядтарының бейтараптығы мен өлшемдерінің шағын болуының арқасында өсімдік ұлпаларына еркін еніп, олар арқылы тарала алады. Бұл иондық формалармен салыстырғанда әлдеқайда төмен дозаларды – дәстүрлі концентрациялардан 10-50 есе аз мөлшерлерді – қолдануға мүмкіндік береді.

Авторлардың пікірінше, нанобөлшектері бар қоректік орта *in vitro* жүйелерде (мысалы, агарда өсіру кезінде), сондай-ақ гидропоника мен аэропоника сияқты топырақсыз технологияларда қолданылуы мүмкін. Ол көшет материалын немесе ұлпа мәдениеттерін өсіруге де жарамды. Аталған технологияны қолдану тұқымның өнуін жеделдетуде, тамыр жүйесінің дамуын жақсартуда, хлорофилл құрамын арттыруда және жалпы алғанда өсімдіктердің өсуі мен дамуын белсендіруде көрініс табады [28].

E.H. Dehkourdi және *M. Mosavi* зерттеулерінде *in vitro* жағдайда ақжелкен (*Petroselinum crispum*) тұқымдарының өнуіне титан диоксиді (TiO_2 , анатаздық форма) нанобөлшектерінің әсері зерттелді [29]. Жұмыстың мақсаты – TiO_2 нанобөлшектері өсімдік дамуының бастапқы сатыларына ынталандырушы немесе тежегіш әсер көрсете ала ма, соны анықтау. Ақжелкен тұқымдарына әртүрлі концентрациядағы TiO_2 нанобөлшектері қосылып, бақылаудағы (нанобөлшектер әсер етпеген) топпен салыстырылып, бақыланатын зертханалық жағдайларда өсірілді. Авторлар титан диоксиді нанобөлшектерінің тұқымның өну үдерісіне айқын ықпал ететінін анықтады: TiO_2 -нің белгілі бір концентрацияларында бақылаумен салыстырғанда өніп шығу пайызы мен жылдамдығының артуы байқалды, бұл нанобөлшектердің ынталандырушы әсерін көрсетеді. Алайда концентрация артқан сайын әсер керісінше болды – жоғары дозалар өсуін тежеуге және тұқымдардың өміршеңдігінің төмендеуіне әкелді, бұл оңтайлы деңгейден асып кеткен кезде уыттылықтың мүмкін екенін білдіреді.

Зерттеу нәтижесінде төмен концентрациядағы титан диоксиді нанобөлшектері тұқымның өнуін жақсарту арқылы өсімдіктің өсуінің бастапқы сатыларының тиімділігін арттыруға ықпал ете алатыны, алайда олардың әсері дозаға және қолдану жағдайларына қатты тәуелді екені туралы қорытынды жасалды [30].

Өсімдік ұлпалары культурасы нанобөлшектерді қолдануға негізделген қоректік ортаны жетілдіру көбейтуді жеделдетуге, селекциялық жұмыстың тиімділігін арттыруға және қажетті белгілері бар өсімдіктерді таңдаудың дәлдігін көтеруге мүмкіндік береді. Бұл өсу мен дамуға арналған оңтайлы жағдайларды жасау есебінен іске асады, соның нәтижесінде әрі қарай селекцияға арналған генетикалық біртекті материалдың көп мөлшерін жылдам алуға, сондай-ақ маңызды агрономиялық сипаттамалары бар өсімдіктерді зерттеу мен іріктеуге жол ашады [31].

Қорытынды

Жүргізілген әдебиетке шолу талдау нанобөлшектердің өсімдік биотехнологиясы мен ауыл шаруашылығындағы елеулі әлеуетін көрсетеді. Оларды қолдану элементтердің бақыланатын босатылуы бар аса тиімді тыңайтқыштар жасаудан бастап, *in vitro* культурасында морфогенез үдерістерін ынталандыруға және өсімдіктерді абиотикалық әрі биотикалық стресстерден қорғауға дейінгі кең ауқымды міндеттерді шешуге мүмкіндік береді. Нанобөлшектерді пайдалану негізіндегі өсімдіктерді микроклондық көбейту әдістемесін жетілдіру үлкен практикалық маңызға ие, өйткені бұл әдіс адам үшін маңызды әртүрлі бағыттарда кеңінен қолданылады. Сол бағыттардың бірі – микрокөбейту: генетикалық тұрғыдан бірдей өсімдіктердің көп мөлшерін жылдам алуға мүмкіндік береді, ол селекция үшін де, бастапқы тұқым шаруашылығы үшін де маңызды [32].

Әдіс генетикалық инженерияның негізі болып қызмет етеді: оның көмегімен, мысалы, *CRISPR* технологиясын пайдалана отырып, өсімдіктер геномына өзгерістер енгізіліп, жаңа, төзімді және жоғары өнімді сорттар жасалады. Бұдан бөлек, әдіс биоалуантүрлілікті сақтау үшін қолданылады: криосақтау арқылы сирек және жойылып бара жатқан өсімдіктердің ұлпалары мен жасушаларын ұзақ уақытқа сақтап, олардың қорғалуын және болашақта қалпына келтіру мүмкіндігін қамтамасыз етуге болады. Үдерістің барлық кезеңдерінде өсімдіктердің биотехнологиялық материалын қалыптастыру тиімділігін арттыру үшін нанобөлшектердің артықшылықтарын қолдануға болады. Нанотехнологиялар өсімдік ұлпаларын *in vitro* культивирлеу технологияларының тиімділігін

біршама арттыра алатын болашағы зор бағыт болып табылады. Қазіргі таңда зерттеушілер нанобөлшектердің түрін, мөлшерін және концентрациясын оптимизациялау арқылы өсімдік өсуі мен дамуын барынша арттыру жолдарын іздестіруде. Нанобөлшектердің қауіпсіздігі мен экологиялық әсерін бағалау маңызды, себебі оларды өндірістік масштабта қолдану алдында жан-жақты зерттеу қажет. Алдағы уақытта бұл бағыт ауыл шаруашылығында және биотехнология саласында инновациялық шешімдерге жол ашуы мүмкін.

Нанобөлшектерді қолдану өсімдіктердің физиологиялық белсенділігін арттыруға, қоректік элементтердің сіңірілуін жақсартуға және жасушалық деңгейдегі биохимиялық процестерді реттеуге ықпал етуі мүмкін. Кейбір зерттеулер нанобөлшектердің антиоксиданттық жүйенің белсенділігін күшейтіп, өсімдіктердің стресс факторларға төзімділігін арттыратынын көрсетеді.

Нанобөлшектер өсімдіктердің ұлпа культурасында стерильділікті сақтауға көмектесетін антимикробтық агенттер ретінде де қарастырылады. Бұл *in vitro* жағдайда жиі кездесетін микробтық контаминация мәселесін азайтуға мүмкіндік береді және регенерация процесінің тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Болашақта бұл бағыттағы зерттеулердің кеңеюі жаңа биостимуляторлар мен тиімді агротехнологияларды әзірлеуге мүмкіндік беріп, ауыл шаруашылығы өндірісінің тұрақтылығы мен өнімділігін арттыруға үлес қосуы мүмкін.

Авторлардың қосқан үлесі

МЖ: өсімдік ұлпаларын *in vitro* культивирлеу бойынша эксперименттік жұмыстарды жүргізді, алынған деректерді талдап және интерпретациялау, мақала қолжазбасын дайындады. ИА: зерттеуге ғылыми жетекшілік етті, әдістемелік кеңес беріп, нәтижелерді талдауға қатысты, мақаланың мәтінін редакциялап және соңғы нұсқасын бекітті.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Khan, S., Zahoor, M., Khan, R.S., Ikram, M., Islam, N.U. (2023). The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. *Heliyon*, 9(6), e16928, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16928.
- 2 Zhou, X.-Q., Hayat, Z., Zhang, D.-D., Li, M.-Y., Hu, S., Wu, Q., Cao, Y.-F., Yuan, Y. (2023). Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Modification, and Applications in Food and Agriculture". *Processes*, 11:4, 1193. DOI: 10.3390/pr11041193.
- 3 Liu, R., Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131-139. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.104.
- 4 Rajput, V., Minkina, T., Mazarji, M., Shende, S., Sushkova, S., Mandzhieva, S., Burachevskaya, M., Chaplygin, V., Singh, A., Jatav, H. (2020). Accumulation of nanoparticles in the soil-plant systems and their effects on human health. *Ann. Agric. Sci.*, 65, 137-143. DOI: 10.1016/j.aos.2020.08.001.
- 5 Maruyama, CR, Guilger, M., Pascoli, M., Bileschy José, N., Abhilash, P.C., Fraceto, L.F., de Lima, R. (2016). Nanoparticles Based on Chitosan as Carriers for the Combined Herbicides Imazapic and Imazapyr. *Scientific Reports*, 6, 19768. DOI: 10.1038/srep19768.
- 6 Husen, A., Siddiqi, K.S. (2014). Nanomaterials and plant growth: Recent advances and applications. *Environmental Chemistry Letters*, 12(2), 165-175.
- 7 Любимова, Н.А., Рабинович, Г.Ю. (2023). Биосинтез наночастиц металлов и их апробация на семенах льна-долгунца. Известия вузов. *Прикладная химия и биотехнология*, 13(2), 263-271.
- 8 Серікбай, А.Т., Агеев, Д.В., Айтқулов, А.М. (2023). Анатомические показатели проростков *Pisum sativum* при воздействии макро- и наночастиц цинка. *Вестник Карагандинского университета имени академика Е.А. Букетова*, 2(110), 124-129. DOI: 10.31489/2023BMG2/124-129.
- 9 Сейтханова, К.К., Аникина, И.В. (2024). Методы биосинтеза наночастиц металлов и перспективы применения в растениеводстве. *Вестник Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева*, 2(62), 151-165. DOI: 10.54596/2958-0048-2024-2-151-165.

10 Рабинович, Г.Ю., Любимова, Н.А. (2021). Биосинтез наночастиц металлов и оксидов металлов и их использование в качестве компонентов удобрений и препаратов для растениеводства (обзор литературы). *Аграрная наука Евро Северо-Востока*, 22:5, 627-640.

11 Panigrahi, M.K. (2021). Investigation of Structural, Morphological, Resistivity of Novel Electrical Insulator: Industrial Wastes. *Bulletin of Scientific Research*, 3(1), 51-58. DOI:10.34256/bsr2116.

12 Lahiani, M.H., Gokulan, K., Williams, K., Khare, S. (2021). Ex Vivo Human Colon Tissue Exposure to Pristine Graphene Activates Genes Involved in the Binding, Adhesion and Proliferation of Epithelial Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21).

13 Ali, A., Mashwani, Z.U.R., Raja, N.I., Mohammad, S., Ahmad, M.S., Luna-Arias, J.P. (2024). Exposure of *Caralluma tuberculata* to biogenic selenium nanoparticles as in vitro rooting agent: Stimulates morpho-physiological and antioxidant defense system. *Plos one*, 19(4), e0297764. DOI: 10.1371/journal.pone.0297764.

14 Гусев, А.А., Захарова, О.В., Колесникова, Е.О., Васюкова, И.А., Евтушенко, Н.А. (2018). Использование наночастиц на основе металлов в составе модифицированных сред для микроклонального размножения древесных растений: предварительные результаты. *Лесотехнический журнал*, 8(4 (32)), 6-11.

15 Ameen, F., Alsamhary, K., Alabdullatif, J.A., Al Nadhari, S. (2021). A review on metal-based nanoparticles and their toxicity to beneficial soil bacteria and fungi, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 112027. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112027.

16 Kim, D.H., Gopal, J., Sivanesan, I. (2017). Nanomaterials in plant tissue culture: the disclosed and undisclosed. *RSC Adv.*, 7, 36492-36505.

17 Abdi, G.H., Salehiand, H., Khosh-Khui, M. (2008). Nano silver: a novel nanomaterial for removal of bacterial contaminants in valerian (*Valeriana officinalis* L.) tissue culture. *Acta Physiol. Plant.*, 30, 709-714.

18 Singh, T.A., Sharma, A., Tejwan, N., Ghosh, N., Das, J., Sil, P.C. (2021). A State-of-the-Art Review on the Synthesis, Antibacterial, Antioxidant, Antidiabetic and Tissue Regeneration Activities of Zinc Oxide Nanoparticles. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 295, 102495.

19 Sarmast, M.K., Salehi, H., Khosh-Khui, M. (2011). Nano silver treatment is effective in reducing bacterial contaminations of *Araucaria excelsa* R. Br. var. *glauca* explants. *Acta biologica Hungarica*, 62(4), 477-484. DOI:10.1556/ABiol.62.2011.4.12.

20 Tamimi, S., Othman, H.S. (2023). Silver nanoparticles for enhancing the efficiency of micropropagation of banana (*Musa acuminata* L.). *Trop. Life Sci. Res.*, 34, 161-175. DOI: 10.21315/tlsr2023.34.2.8.

21 Helaly, M.N. (2014). Effect of nanoparticles on biological contamination of in vitro cultures and organogenic regeneration of banana. *Australian Journal of Crop Science*, 8(4), 612-624.

22 Yaqoob, A.A., Ahmad, H., Parveen, T., Ahmad, A., Oves, M., Ismail, I.M.I., Qari, H.A., Umar, K., Mohamad, I.M.N. (2020). Recent Advances in Metal Decorated Nanomaterials and Their Various Biological Applications: A Review. *Frontiers in Chemistry*, 8, 341. DOI:10.3389/fchem.2020.00341.

23 Arab, M.M., Yadollahi A., Hosseini-Mazinani, M., Bagheri, S. (2014). Effects of antimicrobial activity of silver nanoparticles on in vitro establishment of G×N15 (hybrid of almond×peach) rootstock. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 12(2), 103-110.

24 Gouran, A. et al. (2014). *Effect of silver nanoparticles on grapevine leaf explants sterilization at in vitro conditions*. Isfahan. Iran: 1-6.

25 Фомина, М.А., Черныш, А.О. (2023). Влияние серебряных наночастиц различного происхождения на рост и развитие *Spiraea salicifolia* L., культивируемой в условиях *in vitro*. *Белорусский государственный университет*, 19-24.

26 Spinoso-Castillo, J.L., Chavez-Santoscoy, R., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J.A., Morales-Ramos, V., Bello-Bello, J.J. (2017). Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on in vitro regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 129(2), 195-207. DOI:10.1007/s11240-017-1169-829.

27 Способ выращивания растений с использованием наночастиц металлов и питательная среда для его осуществления. Патент РФ № 2015154325 Чжао Хуэй; Лю Минь; Чень Ю. и др. Патентообладатель(и): Общество с ограниченной ответственностью "ШеньжоуСпейсБайтек

нолоджиГрупп"(CN), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ РАН) (RU), Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе Российской академии наук заяв: 17.12.2015 опуб: 06.03.2017. Бюл. № 7.

28 Tejada-Alvarado, J.J., Meléndez-Mori, J.B., Vilca-Valqui, N.C., Huaman-Huaman, E., Lapiz-Culqui, Y.K., Neri, J.C., et al. (2022). Optimizing factors influencing micropropagation of 'Bluecrop' and 'Biloxi' blueberries and evaluation of their morphophysiological characteristics during ex vitro acclimatization. *J. Berry Res.*, 12, 347-364. DOI: 10.3233/JBR-211565.

29 Dehkourdi, E.H., Mosavi, M. (2013). Effect of anatase nanoparticles (TiO₂) on parsley seed germination (*Petroselinum crispum*) in vitro. *Biological Trace Element Research*, 155, 283-286.

30 Cuong, D.M., Du, P.C., Tung, H.T., Ngan, H.T.M., Luan, V.Q., Phong, T.H., et al. (2021). Silver nanoparticles as an effective stimulant in micropropagation of *Panax Vietnamensis* - a valuable medicinal plant. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 146, 577-588. DOI: 10.1007/s11240-021-02095-2.

31 Tamimi, S., Othman, H.S. (2023). Silver nanoparticles for enhancing the efficiency of micropropagation of banana (*Musa acuminata* L.). *Trop. Life Sci. Res.*, 34, 161-175. DOI: 10.21315/tlsr2023.34.2.8.

32 Guru, G.R., Ramteke, P.W., Veres, C., Vágvölgyi, C. (2025) Potential impacts of nanoparticles integration on micropropagation efficiency: current achievements and prospects. *Front. Plant Sci.*, 16, 1629548. DOI: 10.3389/fpls.2025.1629548.

References

1 Khan, S., Zahoor, M., Khan, R.S., Ikram, M., Islam, N.U. (2023). The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. *Heliyon*, 9(6), e16928, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16928.

2 Zhou, X.-Q., Hayat, Z., Zhang, D.-D., Li, M.-Y., Hu, S., Wu, Q., Cao, Y.-F., Yuan, Y. (2023). Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Modification, and Applications in Food and Agriculture". *Processes*, 11:4, 1193. DOI: 10.3390/pr11041193.

3 Liu, R., Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, 514, 131-139. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.104.

4 Rajput, V., Minkina, T., Mazarji, M., Shende, S., Sushkova, S., Mandzhieva, S., Burachevskaya, M., Chaplygin, V., Singh, A., Jatav, H. (2020). Accumulation of nanoparticles in the soil-plant systems and their effects on human health. *Ann. Agric. Sci.*, 65, 137-143. DOI: 10.1016/j.aos.2020.08.001.

5 Maruyama, C.R., Guilger, M., Pascoli, M., Bileshy José, N., Abhilash, P.C., Fraceto, L.F., de Lima, R. (2016). Nanoparticles Based on Chitosan as Carriers for the Combined Herbicides Imazapic and Imazapyr. *Scientific Reports*, 6, 19768. DOI: 10.1038/srep19768.

6 Husen, A., Siddiqi, K.S. (2014). Nanomaterials and plant growth: Recent advances and applications. *Environmental Chemistry Letters*, 12(2), 165-175.

7 Lyubimova, N.A., Rabinovich, G.Ju. (2023). Biosintez nanochastic metallov i ih aprobaciya na semenah l'na-dolgunca. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotehnologiya*, 13(2), 263-271.

8 Cerikbay, A.T., Ageev, D.V., Aitkulov, A.M. (2023). Anatomicheskie pokazateli prorostkov *Pisum sativum* pri vozdejstvii makro- i nanochastic cinka. *Vestnik Karagandinskogo universiteta imeni akademika E.A. Buketova*, 2(110), 124-129. DOI: 10.31489/2023BMG2/124-129.

9 Seithanova, K.K., Anikina, I.V. (2024). Metody biosinteza nanochastic metallov i perspektivy primeneniya v rasteniyevodstve. *Vestnik Severo-Kazhastanskogo Universiteta im. M. Kozybaeva*, 2(62), 151-165. DOI: 10.54596/2958-0048-2024-2-151-165.

10 Rabinovich, G.Ju., Lyubimova, N.A. (2021). Biosintez nanochastic metallov i oksidov metallov i ih ispol'zovanie v kachestve komponentov udobrenij i preparatov dlja rasteniyevodstva (obzor literatury). *Agrarnaya nauka Evro Severo Vostoka*, 22:5, 627-640.

- 11 Panigrahi, M.K. (2021). Investigation of Structural, Morphological, Resistivity of Novel Electrical Insulator: Industrial Wastes. *Bulletin of Scientific Research*, 3(1), 51-58. DOI:10.34256/bsr2116.
- 12 Lahiani, M.H., Gokulan, K., Williams, K., Khare, S. (2021). Ex Vivo Human Colon Tissue Exposure to Pristine Graphene Activates Genes Involved in the Binding, Adhesion and Proliferation of Epithelial Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21).
- 13 Ali, A., Mashwani, Z.U.R., Raja, N.I., Mohammad, S., Ahmad, M.S., Luna-Arias, J.P. (2024). Exposure of *Caralluma tuberculata* to biogenic selenium nanoparticles as in vitro rooting agent: Stimulates morpho-physiological and antioxidant defense system. *Plos one*, 19(4), e0297764. DOI: 10.1371/journal.pone.0297764.
- 14 Gusev, A.A., Zaharova, O.V., Kolesnikova, E.O., Vasjukova, I.A., Evtushenko, N.A. (2018). Ispol'zovanie nanochastic na osnove metallov v sostave modifitsirovannykh sred dlya mikroklonal'nogo razmnozheniya drevesnykh rastenii: predvaritel'nye rezul'taty. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 8(4 (32)), 6-11.
- 15 Ameen, F., Alsamhary, K., Alabdullatif, J.A., Al Nadhari, S. (2021). A review on metal-based nanoparticles and their toxicity to beneficial soil bacteria and fungi, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 112027. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.112027.
- 16 Kim, D.H., Gopal, J., Sivanesan, I. (2017). Nanomaterials in plant tissue culture: the disclosed and undisclosed. *RSC Adv.*, 7, 36492-36505.
- 17 Abdi, G.H., Salehiand, H., Khosh-Khui, M. (2008). Nano silver: a novel nanomaterial for removal of bacterial contaminants in valerian (*Valeriana officinalis* L.) tissue culture. *Acta Physiol. Plant.*, 30, 709-714.
- 18 Singh, T.A., Sharma, A., Tejwan, N., Ghosh, N., Das, J., Sil, P.C. (2021). A State-of-the-Art Review on the Synthesis, Antibacterial, Antioxidant, Antidiabetic and Tissue Regeneration Activities of Zinc Oxide Nanoparticles. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 295, 102495.
- 19 Sarmast, M.K., Salehi, H., Khosh-Khui, M. (2011). Nano silver treatment is effective in reducing bacterial contaminations of *Araucaria excelsa* R. Br. var. *glauca* explants. *Acta biologica Hungarica*, 62(4), 477-484. DOI:10.1556/ABiol.62.2011.4.12.
- 20 Tamimi, S., Othman, H.S. (2023). Silver nanoparticles for enhancing the efficiency of micropropagation of banana (*Musa acuminata* L.). *Trop. Life Sci. Res.*, 34, 161-175. DOI: 10.21315/tlsr2023.34.2.8.
- 21 Helaly, M.N. (2014). Effect of nanoparticles on biological contamination of in vitro cultures and organogenic regeneration of banana. *Australian Journal of Crop Science*, 8(4), 612-624.
- 22 Yaqoob, A.A., Ahmad, H., Parveen, T., Ahmad, A., Oves, M., Ismail, I.M.I., Qari, H.A., Umar, K., Mohamad, I.M.N. (2020). Recent Advances in Metal Decorated Nanomaterials and Their Various Biological Applications: A Review. *Frontiers in Chemistry*, 8, 341. DOI:10.3389/fchem.2020.00341.
- 23 Arab, M.M., Yadollahi A., Hosseini-Mazinani, M., Bagheri, S. (2014). Effects of antimicrobial activity of silver nanoparticles on in vitro establishment of G×N15 (hybrid of almond×peach) rootstock. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 12(2), 103-110.
- 24 Gouran, A. et al. (2014). *Effect of silver nanoparticles on grapevine leaf explants sterilization at in vitro conditions*. Isfahan. Iran: 1-6.
- 25 Fomina, M.A., Chernysh, A.O. (2023). Vliyanie serebrianykh nanochastic razlichnogo proishozhdeniya na rost i razvitie *Spiraea salicifolia* L., kultiviruemoi v usloviyah in vitro. *Belorusskii gosudarstvennyi universitet*, 19-24.
- 26 Spinoso-Castillo, J.L., Chavez-Santoscoy, R., Bogdanchikova, N., Pérez-Sato, J.A., Morales-Ramos, V., Bello-Bello, J.J. (2017). Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on in vitro regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 129(2), 195-207. DOI:10.1007/s11240-017-1169-829.
- 27 Sposob vyrashhivaniya rastenii s ispol'zovaniem nanochastic metallov i pitatel'naya sreda dlja ego osushhestvleniya. Patent RF № 2015154325 Chzhao Hujiej; Lju Min'; Chen' Ju. i dr. Patentoobladatel'(i): Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Shen'zhouSpejsBajteknolodzhiGrup"(CN), Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut biokhimicheskoi fiziki im. N.M. Emanujelyja Rossiiskoi akademii nauk (IBHF RAN) (RU), Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut energeticheskikh problem himicheskoi fiziki im. V.L. Tal'roze Rossijskoj akademii nauk zayav: 17.12.2015 pub: 06.03.2017. Bjul. № 7.

28 Tejada-Alvarado, J.J., Meléndez-Mori, J.B., Vilca-Valqui, N.C., Huaman-Huaman, E., Lapiz-Culqui, Y.K., Neri, J.C., et al. (2022). Optimizing factors influencing micropropagation of 'Bluecrop' and 'Biloxi' blueberries and evaluation of their morphophysiological characteristics during ex vitro acclimatization. *J. Berry Res.*, 12, 347-364. DOI: 10.3233/JBR-211565.

29 Dehkourdi, E.H., Mosavi, M. (2013). Effect of anatase nanoparticles (TiO₂) on parsley seed germination (*Petroselinum crispum*) in vitro. *Biological Trace Element Research*, 155, 283-286.

30 Cuong, D.M., Du, P.C., Tung, H.T., Ngan, H.T.M., Luan, V.Q., Phong, T.H., et al. (2021). Silver nanoparticles as an effective stimulant in micropropagation of *Panax Vietnamensis* -a valuable medicinal plant. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 146, 577-588. DOI: 10.1007/s11240-021-02095-2.

31 Tamimi, S., Othman, H.S. (2023). Silver nanoparticles for enhancing the efficiency of micropropagation of banana (*Musa acuminata* L.). *Trop. Life Sci. Res.*, 34, 161-175. DOI: 10.21315/tlsr2023.34.2.8.

32 Guru, G.R., Ramteke, P.W., Veres, C., Vágvölgyi, C. (2025) Potential impacts of nanoparticles integration on micropropagation efficiency: current achievements and prospects. *Front. Plant Sci.*, 16, 1629548. DOI: 10.3389/fpls.2025.1629548.

Наночастицы, как элемент технологии культивирования растительных тканей *in vitro*

Жагипарова М.Е., Аникина И.Н.

Аннотация

Предпосылки и цель. Наночастицы различного типа, размера и морфологии проявили свою эффективность в качестве эффективных препаратов для решения многих проблем растениеводства в качестве удобрений, регуляторов роста и пестицидов. Наночастицы оказывают стимулирующее влияние на прорастание, способствуют медленному высвобождению эффективной дозировки воды и питательных элементов. Что, как и биоцидные свойства наночастиц послужило толчком для использования наночастиц в культуре растительных тканей.

Материалы и методы. В ходе анализа литературы были использованы платформы Google scholar, Elsevier, eLibrary. В обзоре проанализированы публикации по использованию наночастиц различных элементов в качестве компонентов модифицированных питательных сред с целью повышения эффективности микроклонального размножения различных видов растительных культур. В ходе исследования проанализированы двойственные эффекты наночастиц, на развитие растений *in vitro*: от стимуляции роста до фитотоксического действия.

Нәтижелер. Рассмотрены механизмы взаимодействия НЧ с растительными клетками, преимущества нанодобровений перед традиционными формами и перспективы использования различных типов НЧ (металлов, их оксидов, кремния, углеродных материалов) в качестве компонентов питательных сред в том числе для снижения рисков контаминации. Обзор подчеркивает многочисленные преимущества наночастиц в культуре растительных тканей *in vitro*, вместе с тем показана необходимость дальнейших исследований для оптимизации доз и методов применения наноматериалов в биотехнологии растений.

Заклучение. Совершенствование методики клонального микроразмножения растений на основе использования наночастиц имеет большую практическую значимость, так как это позволит повысить эффективность работ по созданию новых сортов и форм растений биотехнологическими методами, а также сохранению генофонда растений и темпов наращивания исходного материала для первичного семеноводства.

Ключевые слова: *in vitro*; микроклональное размножение; наночастица; питательная среда; рост.

Nanoparticles as a component of *in vitro* plant tissue culture technology

Maira E. Zhagiparova, Irina N. Anikina

Abstract

Background and Aim. Nanoparticles of various types, sizes, and morphologies have demonstrated high potential as promising agents for addressing numerous challenges in crop production, functioning as fertilizers, growth regulators, and pesticides. Nanoparticles can stimulate seed germination and promote the gradual release of optimal amounts of water and nutrients. These properties, together with the biocidal activity of nanoparticles, have stimulated interest in the application of nanoparticles in *in vitro* plant tissue culture.

Materials and Methods. The literature review was conducted using the Google Scholar, Elsevier, and eLibrary databases. This review analyzes publications on the use of nanoparticles of various elements as components of modified nutrient media aimed at improving the efficiency of microclonal propagation of different plant species. The study examines the dual effects of nanoparticles on plant development *in vitro*, ranging from growth stimulation to phytotoxicity.

Results. The mechanisms of interaction between nanoparticles and plant cells, the advantages of nanofertilizers over conventional formulations, and the prospects for using different types of nanoparticles (metals, oxides, silicon, and carbon-based materials) as components of nutrient media, including their potential to reduce contamination risks, are discussed. The review highlights the numerous advantages of nanoparticles in *in vitro* plant tissue culture, while also emphasizing the need for further research to optimize nanoparticle dosages and application methods in plant biotechnology.

Conclusion. Improving clonal micropropagation techniques through the use of nanoparticles is of significant practical importance, as it can enhance the efficiency of developing new plant varieties and forms using biotechnological approaches, contribute to the conservation of plant genetic resources, and increase the rate of propagation of source material for primary seed production.

Keywords: *in vitro*; microclonal propagation; nanoparticles; nutrient medium; growth.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. - № 1 (129). - P.-156-168. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/ 10.51452/eaj.2026.1(129).2129

ӘОЖ 63.639.639.1.639.1.05

Зерттеу мақаласы

Сайрам-Өгем мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі сібір елігі мен қабанның таралуы мен саны

Орынбасар Н.Қ.¹, Майсупова Б.Д.¹, Карагойшин Ж.М.², Асылбекова А.С.¹
Баринаова Г.К.¹, Буршакбаева Л.М.¹

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: Орынбасар Н.Қ.: n-kairatovna@mail.ru

Бірлескен авторлар: (1: БМ) bagila.maisupova@mail.ru; (2: ЖК) k.zhashaiyr@mail.ru

(3: АА) gamily-05@mail.ru; (4: ГБ) gul_b83@mail.ru; (5: БЛ) laura_88a@mail.ru

Қабылданған күні: 27.01.2026 **Қабылданды:** 24.02.2026 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Ерекше қорғалатын табиғи аумақтардағы жұптұяқты жануарлар популяциясының жай-күйін зерттеу биоалуантүрлілікті сақтау тұрғысынан өзекті мәселе болып табылады. Мақалада Сайрам-Өгем мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің аумағында мекендейтін сібір елігі (*Capreolus pygargus Pallas*, 1771) мен қабанның (*Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) таралу ерекшеліктері және санының динамикасы қарастырылған. Аталған түрдің таралу ерекшеліктері мен санының динамикасын зерттеу популяцияларды тиімді қорғау шараларын ғылыми негізде ұйымдастыру үшін маңызды болып саналады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу жұмыстары 2024-2025 жылдары Сайрам-Өгем мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің аумағында жүргізілді. Зерттеу нысандары ретінде парк аумағында тіршілік ететін сібір елігі мен қабан популяциялары алынды. Зерттеу бағдарламасына сәйкес аталған түрлердің табиғи парк аумағындағы таралу ерекшеліктері, есепке алу көрсеткіштері, азықтық қоры және популяциялық құрылымы анықталды. Сайрам-Өгем мемлекеттік ұлттық табиғи паркінде сібір елігінің таралу ерекшеліктерін айқындау мақсатында далалық бақылаулармен қатар, арнайы әзірленіп, орманшылар мен аңшылық мамандары арасында таратылған сауалнамалардың нәтижелері де пайдаланылды.

Нәтижелер. Бақылау жұмыстары барысында аталық және аналық дарақтардың биотоптар бойынша таралу ерекшеліктерінде айырмашылықтар бар екені анықталды. Санақ нәтижелері сібір елігі мен қабан популяцияларының жыныстық-жастық құрылымында филиалдар арасында айырмашылықтар бар екенін көрсетті. Бұл жағдай парк аумағындағы мекендеу ортасының алуандылығымен және азықтық ресурстардың кеңістікте бөлінуімен байланысты екені анықталды.

Қорытынды. Алынған нәтижелер «Сайрам-Өгем» МҰТП аумағындағы сібір елігі мен қабан популяцияларының экологиялық ерекшеліктерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді және осы түрлерді қорғау, тұрақты пайдалану, мониторинг жүргізу мен басқару стратегияларын әзірлеу үшін маңызды ғылыми негіз болып табылады. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері антропогендік қысымды азайтуға және негізгі мекендеу аймақтарын сақтауға бағытталған табиғатты қорғау шараларын жетілдіруге септігін тигізеді.

Кілт сөздер: мемлекеттік ұлттық табиғи парк; қабан; сібір елігі; саны; таралу.

Кіріспе

Сайрам-Өгем мемлекеттік ұлттық табиғи паркі (МҰТП) – Қазақстан Республикасының Түркістан облысындағы Батыс Тянь-Шань тау жүйесінің солтүстік-шығыс бөлігінде орналасқан мемлекеттік табиғи аймақтардың бірі болып табылады. Парк аумағына Өгем, Қаржантау, Боралдайтау және Талас Алатауының солтүстік-батыс бөктерлері кіреді, ал жалпы жер көлемі шамамен 150 000 га құрайды [1]. Паркте биік таулы аймақтардан бастап жазық жерлер мен орман зонасына дейінгі әртүрлі экожүйелер кездеседі, бұл өз кезегінде фауна мен флораның жоғары биологиялық әртүрлілігіне мүмкіндік береді. Атап айтқанда, паркте 59 сүтқоректілердің түрі тіркелген, оның ішінде Қазақстанның Қызыл кітабына енгізілген сирек кездесетін жануарлар да бар [2]. Жабайы сүтқоректілердің ішінде Сібір елігі (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) мен қабан (*Sus scrofa Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) – парктің негізгі өкілдеріне жатады. Бұл екі түр экожүйенің құрылымдық компоненті ретінде маңызды роль атқара отырып, биотоптар арасындағы энергия мен қоректік байланыстарды реттейді және басқа түрлердің популяция динамикасы мен кеңістіктік таралуына әсер етеді Сібір елігі таулы және орманды зоналарда кеңінен таралған, ал қабан орманның ішкі бөліктерінде және жеміс-жидекті сімдіктер бар аймақтарда жиі кездеседі [3]. Сондай-ақ, бұл жануарлардың популяциялары маусымдық жағдайлар мен қорек қолжетімділігіне байланысты кеңістіктік түрде өзгеріп отыратыны белгілі [4].

Көптеген зерттеулер сібір елігінің таралуы мен салыстырмалы саны қоректік базаның сапасы мен орман жамылғысының құрылымына тәуелді екенін көрсетеді [5]. Қытайдың солтүстік-шығысындағы ұлттық парк аумағында өсімдік жамылғысы мен қоректік ресурстары мол учаскелерде еліктер санының жоғары болуы анықталған [6]. Сондай-ақ, Германияда еуропалық еліктердің салыстырмалы санын модельдеу нәтижелері климаттық және ландшафттық факторлардың әртүрлі ортадағы еліктердің таралуына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті [7]. Қабанның таралуы ландшафттық ерекшеліктерге және антропогендік факторларға тікелей байланысты екені Батыс Испанияда қабанның мінезқалықты зерттеу нәтижелерінде дәлелденген [8]. Оңтүстік Орал аудандарынан бастап солтүстікке қарай қабандардың орман арасында мекендемеу себебі біріншіден қысы ұзақ, әрі қатаң, қары қалың, екіншіден қабан қоректенетін емен жаңғақтары мен басқа да азықтарды табу оңай емес [9].

Қазіргі уақытта жабайы жануарлардың таралуы мен санының динамикасын зерттеу қоршаған ортаны басқару және қорғау жоспарын әзірлеуде маңызды болып табылады [10]. Әсіресе қорғалатын жерлерде жүргізілген зерттеулердің нәтижесі популяция құрылымдарын, маусымдық қозғалыстарды және экологиялық факторлардың әсерін анықтауға мүмкіндік береді [11]. Бұл мақалада Сібір елігі мен қабан популяцияларының таралуы мен санын анықтау – ұлттық парк экожүйесінің жағдайын бағалаудың маңызды бөлімі болып табылады.

Осыған байланысты мақалада Сайрам-Өгем МҰТП аумағындағы Сібір елігі мен қабанның кеңістіктік таралу ерекшеліктері, жыныстық-жастық құрылымдары және саны қарастырылды.

Зерттеу жұмысының мақсаты – «Сайрам-Өгем» МҰТП аумағында мекендейтін сібір еліктерінің таралу ерекшеліктерін және санын анықтау, олардың популяциялық жағдайын бағалау арқылы ұлттық парктің экологиялық саясаты мен басқару стратегиясына ғылыми негіздеме ұсыну.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу жұмыстары 2024-2025 жылдары «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің территориясында жүргізілді. Зерттеу жұмысының бағдарламасына сәйкес сібір еліктері мен қабанның табиғи парктің территориясында таралу ерекшеліктері, есепке алу жұмыстары, популяциялық құрылымы анықталды. «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркінде сібір еліктері мен қабанның таралу ерекшеліктерін анықтау үшін өзіндік бақылау жұмыстарынан басқа арнайы жасалынып, орманшылар мен аңшылар арасына таратылған сауалнамалардың нәтижелері пайдаланылды.

Есепке алу жұмыстары Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрінің 2012 жылғы 1 наурыздағы № 25-03-01/82 «Қазақстан Республикасының аумағында аңшылық жануарлар түрлерін есепке алу бойынша нұсқаулықты бекіту туралы» бұйрығына, сондай-ақ ҚР АШМ жануарлар дүниесін қорғау мен пайдалануды ұйымдастыру саласындағы Орман шаруашылығы

және жануарлар дүниесі комитеті бекіткен «Қазақстандағы негізгі кәсіптік-аңшылық және сирек кездесетін жануар түрлерін есепке алу әдістеріне» сәйкес жүргізілді [12].

Нәтижелер және талқылау

Зерттеу барысында сібір елігінің (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) «Сайрам-Өгем» МҰТП аумағындағы таралу ерекшеліктері анықталды. Өгем филиалы бөлігінде сібір еліктері Алмалы, Галия тоғайы, Тасбастау және Ырғайлы аудандарында жиі кездеседі. Түлкібас филиалында олар Шілікті мен Үңгірліден Аққұзар мен Золотарьға дейінгі аумақтарда сирек тіркелген, ал Текше аймағында кездесуі өте төмен деңгейде болды. Сібір еліктерінің мезгілдік шоғырлануы айтарлықтай ерекшеленеді. Көктемде Қызылжар мен Қырғили аумағының астында, жазда Тасқорадан төменгі Аршалы мен Ақмойнақта, қыста Кенжебай мен Суықсайда шоғырланған. Орташа шоғырлануы көктемде Қорғантас, Ақкез және Талдыбұлақтан төменгі аудандарда байқалды. Ал, көктемде аз шоғырлануы Киікбай, Текше және Ақбастауда, жазда Алмалысай, Шілікті және Үңгірліде тіркелген. Бақылау нәтижелері сібір еліктерінің жазғы мекендеу орындарында су көздеріне жақын болу маңызды екенін көрсетті. Мамыр, маусым және шілде айларында құрақшылық мезгілі байқалып, өсімдіктердің шырындылығы судың жақындығына байланысты өзгертіні анықталды. Бұл жағдай сібір еліктерінің су ресурстарын мекен ету орнын таңдаудағы басты фактор ретінде әсер ететінін көрсетеді. 2025 жылы жүргізілген бақылау нәтижелері бойынша «Сайрам-Өгем» МҰТП аумағында сібір елігінің (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) маусымдық таралу ерекшеліктері анықталды (1-кесте).

1-кесте – 2025 ж. «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі территориясында сібір елігінің маусымдық (наурыз-шілде) таралу ерекшеліктері

Сібір елігінің таралу аймақтары	наурыз	Сәуір	мамыр	маусым	шілде
Қызылжар	2/3/1/1/1	1/1/2/3/1	2/3/1		
Қырғили	1/1/3	3/1/2/3	1/2/1/3		
Тасқора		1/1/2/1/1	1/1		
Аршалы		2/3/2			
Ақмойнақ					
Кенжебай					
Суықсай			3/1		
Киікбай	3/1/1				
Текше	1/1/1				
Ақбастау	2/1/3			1/3/1	1\1\2
Алмалысай		2/1/3			
Шілікті	3/1				
Үңгірлі		1/2/2/1	1/2/2		2\1\1

Көктемгі айларда (наурыз-сәуір) сібір еліктері көбінесе Қызылжар, Қырғили, Киікбай және Текше аудандарында тіркелген. Наурызда Қызылжар мен Киікбайда салыстырмалы түрде жоғары шоғырлануы байқалды, ал сәуірде Қызылжар, Қырғили және Тасқорада орташа шоғырлану тіркелген. Мамыр–маусым айларында сібір еліктері Тасқора, Аршалы және Ақмойнақ аумақтарына ауысып, жазғы мекендеу орындарына шоғырланады. Мамырда Аршалы мен Тасқорада шоғырлануы жоғары болса, маусымда Суықсай мен Аршалыда орташа шоғырлануы байқалды. Жазғы кезеңде (шілде) Ақбастау және Үңгірліде аз шоғырлану тіркелді.

Кестедегі мәліметтер сібір еліктерінің маусымдық таралуының гидрологиялық және ландшафттық факторларға тәуелді екенін көрсетеді. Көктемде және жаздың басында жануарлар судың жақындығы мен өсімдіктердің шырындылығына байланысты төменгі алқаптар мен

өзен аңғарларына шоғырланады. Сібір еліктерінің таралуы мен шоғырлануының маусымдық динамикасы Ұлттық парк аумағында мекен ету ортасының әртүрлілігін, әсіресе су көздері мен шалғынды-орман аралық алқаптардың маңыздылығын көрсетеді.

2025 жылы жүргізілген бақылау нәтижелері бойынша «Сайрам-Өгем» МҰТП аумағында сібір елігінің (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) тамыз-желтоқсан айларындағы маусымдық таралуы анықталды (2-кесте).

2-кесте – 2025 ж. «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі территориясында сібір елігінің маусымдық (тамыз-желтоқсан) таралуы

Сібір елігінің таралу аймақтары	тамыз	қыркүйек	қазан	қараша	желтоқсан
Тасбастау		1/1/1		2/1	
Жантеке	2/3/1/1/1	½	2/3/1		
Диірменбастау	1/1/3		1/2/1/3		
Алмалы		1/1/2/1/1	1/1	3/1/2/3	
Айғыржыққан		2/3/2			
Жаужүрек					
Құмкөзек		1/1/2/3/1			
Ақкөйлек			3/1		
Ақтас	3/1/1				
Қырғызбұққан	1/1/1				
Шымырбай	2/1/3		2/3/1/1/1	1/3/1	
Шәлекөзек		2/1/3			
У-бастау	3/1				
Галия тоғай	1/1/1/1	1/2/2/1	1/2/2	2/3/2	2\2\1
Тасбастау					2\1\2\2

Тамыз айында сібір еліктері Жантеке, Диірменбастау, Шымырбай, У-бастау және Галия тоғай учаскелерінде тіркелген, олардың шоғырлануы әртүрлі болып, ең көп шоғырлану Галия тоғайында байқалған. Қыркүйекте жануарлардың таралуы әр өңірде орташа деңгейде тіркелген. Қазан айында сібір еліктері Диірменбастау, Галия тоғайы және Шымырбайда шоғырланған, ал қараша айында Тасбастау мен Галия тоғайында шоғырлану жоғары болды. Желтоқсан айында шоғырлану Галия тоғайы мен Тасбастауда байқалған, ал кейбір аймақтарда жануарлар саны төмен деңгейде болғаны анықталды. Бақылау нәтижелері сібір елігінің күз бен қыс айларында төменгі биіктіктегі және қоректік базасы мол аудандарда шоғырланатынын көрсетті. Тамыз-қыркүйек айларында жануарлар жазғы мекендеу орындарынан біртіндеп қоныс аударып, күзгі қоректік және су ресурстары жеткілікті аумақтарға көшеді. Қазан-желтоқсан айларында шоғырлану әсіресе Галия тоғайы мен Тасбастау сияқты қоректік база мен су көздері бар орман-батпақ алқаптарда жоғары деңгейде тіркелді. Бұл деректер сібір еліктерінің маусымдық таралуының негізгі факторлары-қоректік база, су ресурстары және биіктік зоналары екенін көрсетеді.

Жыл бойғы бақылау деректері сібір еліктерінің таралуы қоректік база, су ресурстары, биіктік зоналары және мезгілдік климаттық ерекшеліктерге тікелей тәуелді екенін көрсетті. Көктемде және жаздың басында еліктер су көздеріне жақын алқаптарда шоғырланса, күз бен қыс айларында қоректік базасы мол, төменгі биіктіктегі аудандарға ауысады. Бұл деректер «Сайрам-Өгем» МҰТП-дағы сібір елігінің экологиялық талаптарын, популяциялық жағдайын бағалау және басқару стратегияларын әзірлеуде ғылыми негіз болып табылады.

2025 жылы жүргізілген бақылау нәтижелері қабанның (*Sus scrofa* *Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) ұлттық парк аумағында шектеулі әрі айқын географиялық таралуымен сипатталатынын көрсетті. Атап айтқанда, Түлкібас филиалында бұл түр тек Батыс Тянь-Шань тау сілемі шегінде ғана кездеседі. Аталған аумақтың Ақсу-Жабағылы мемлекеттік табиғи қорығымен шекаралас

орналасуы жабайы шошқалардың маусымдық миграциясына ықпал етеді. Соның нәтижесінде жануарлар жыл мезгілдерінің өзгеруіне байланысты ұлттық парк пен қорық аумағы арасында қоныс ауыстырып отырады.

Төлеби және Өгем филиалдары аумағында қабанның таралуы солтүстік-шығыс, солтүстік-батыс, орталық және солтүстік бөліктермен шектеледі. Әсіресе Өгем орманшылығының территориясындағы өрік пен алма бақтары олардың негізгі мекендеу ортасы болып табылады. Бұл жағдай қабанның азықтық базаны таңдауда мәдени жеміс ағаштары өсетін учаскелерге бейімділігін көрсетеді. Бақылауларға сәйкес, қабандар ұлттық парк аумағында топтасып тіршілік етеді және жыл бойы бір аймақтан екінші аймаққа үздіксіз көшіп-қонып жүреді. Олардың негізгі тіршілік ету ортасы қайыңды, қарағайлы, жыңғылды орман алқаптары мен сулы-батпақты жерлерге жақын орналасқан учаскелер болып табылады. Бұл биотоптар жануарлар үшін қорғаныштық (паналық) және азықтық тұрғыдан қолайлы жағдайлар тудырады. Қысқы кезеңде қабандардың таралуына қар жамылғысының қалыңдығы мен тұрақтылығы айтарлықтай әсер етеді. Қар жамылғысы мен паналық жағдайлардың үйлесімділігі қоңыржай климаттық аймақта олардың табиғи таралу шекарасын анықтайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Орманның таулы бөліктерінде қар тығыздығының біркелкі түспеуі қабандардың тау беткейлерінде, сондай-ақ әртүрлі биіктік белдеулерде қыс мезгілінде паналауына қолайлы жағдай қалыптастырады. Ал орманның ашық алаңдарында бұл түр сирек кездеседі. Қыс мезгілінде қабандар негізінен қарағайлы және аралас ормандарда, азықтандыру алаңдарына жақын учаскелерде мекендейді, ал жаз айларында орманның қалың әрі жабық бөліктеріне қарай ығысады. Зерттеу деректері қысқы маусымда тіршілік етуге қолайлы биотоптардың жалпы ауданы шамамен 65% қысқартатынын көрсетті. Қатты аязды күндері және қар жамылғысы толық ерігенге дейін қабандар табиғи парктің орманшылықтарындағы қар қабаты жұқа аймақтарда шоғырланып тіршілік етеді.

Осылайша, қабанның таралуы мен маусымдық қоныс аударуы табиғи-климаттық факторлармен, әсіресе қар жамылғысының сипатымен, орман типтерімен және азықтық ресурстардың қолжетімділігімен тығыз байланысты екені анықталды (3-кесте).

3-кесте – 2025 ж. «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі территориясында қабанның маусымдық (наурыз-шілде) таралу ерекшеліктері

Қабанның таралу аймақтары	наурыз	сәуір	мамыр	маусым	шілде
Машатшөл	2\1		2\2		
Киікбай	1\1	3\1\1			
Аюсай			1\2\3	4\2	2\1\1
Молбұлақ	2	2\4	1\2		
Доңызтау	2\2\3	1\1\3			
Ақмойнақ			3\3\3		
Қызылжар	1\2\1	2\5		3\3\1	1\2\2\1
Кенжебай	3\2\3		1\3\2		
Жамантас		2\2\3		1\2\3	
Жантеке	2\2\3\1	2\3\2\2	2\2\2\1		
Алмалы		2\5	1\3\2	3\2\3\1\2	2\3\1\2
Жаужүрек	1\2\1\1				
Диірменбастау	1\2\3\1				
Ақкөйлек				2\1\3\1	
Алма баудың іші	2\1\3\1	5	3\2\1\3		
Құмкезең		4\2\3		1\2\1	2\1
Шошақ төбе	2\3\1\2	3\5\1	5\1\3		
Галя тоғай	2\3\2\1\2	1\3\4\1	1\3\2\1	1\2\2\5	1\2\1\1\2
Тас бастау	2\1\3\1	2\3\1	2\2\2		

2025 жылы «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағында қабанның (*Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) наурыз-шілде айлары аралығындағы маусымдық таралу ерекшеліктері зерттелді. Кестеде көрсетілген деректер қабанның таралуының маусым бойынша айтарлықтай өзгеретінін көрсетеді. Наурыз айында қабан негізінен Машатшөл, Киікбай, Молбұлақ, Доңызтау, Қызылжар, Кенжебай, Жантеке, Шошақ төбе, Галя тоғай, Тас бастау және «Алма баудың іші» учаскелерінде тіркелді. Бұл кезеңде тіркелулер саны салыстырмалы түрде тұрақты болып, жануарлардың қысқы тұрақтардан толық ыдырамағанын көрсетеді. Сәуір айында қабанның таралу аймағы кеңейіп, Киікбай, Молбұлақ, Доңызтау, Қызылжар, Жамантас, Жантеке, Алмалы, Шошақ төбе, Галя тоғай және Тас бастау аумақтарында белсенділігі артқаны байқалды. Әсіресе «Алма баудың іші» және Шошақ төбе учаскелерінде тіркелу көрсеткіштерінің жоғары болуы азықтық ресурстардың молдығымен байланысты. Мамыр айында қабанның таралуы бірқатар жаңа учаскелерде, атап айтқанда Аюсай, Ақмойнақ, Алмалы, Құмкезең және Шошақ төбе аумақтарында тіркелді. Бұл кезеңде жануарлардың биік және жабық орман алқаптарына қарай ығысуы байқалады. Сонымен қатар, Галя тоғай мен Аюсай аумақтарында тіркелу жиілігінің сақталуы бұл учаскелердің маусымдық тұрақты мекен ретіндегі маңызын көрсетеді. Маусым айында қабанның белсенділігі негізінен Аюсай, Қызылжар, Алмалы, Жамантас, Ақкөйлек және Галя тоғай аумақтарында байқалды. Бұл кезеңде қабандардың саны салыстырмалы түрде аз учаскелерде шоғырланып, тіркелулердің сиреуі жануарлардың кең аумаққа таралып, жасырын тіршілік етуімен түсіндіріледі. Шілде айында қабанның таралуы шектеулі аумақтармен сипатталып, негізінен Аюсай, Қызылжар, Алмалы, Құмкезең және Галя тоғай учаскелерінде ғана тіркелді. Бұл жазғы кезеңде қабандардың қалың өсімдікті, ылғалды және антропогендік әсері төмен биотоптарға шоғырланатынын көрсетеді.

Алынған нәтижелер қабанның маусымдық таралуы климаттық жағдайлармен, азықтық базаның өзгеруімен және мекендеу ортасының паналық ерекшеліктерімен тығыз байланысты екенін дәлелдейді. Ерте көктемде (наурыз-сәуір) қабандардың салыстырмалы түрде төмен және орта биіктіктегі, қар жамылғысы тез еріген аумақтарда жиі тіркелуі қысқы кезеңнен кейінгі энергия қорын қалпына келтіру қажеттілігімен байланысты. Сәуір-мамыр айларында «Алма баудың іші», Шошақ төбе және Галя тоғай сияқты учаскелерде тіркелу жиілігінің артуы қабанның мәдени және жабайы жеміс ағаштары өсетін аймақтарға азықтық мақсатта белсенді қоныс аударатынын көрсетеді. Бұл жағдай қабанның оппортунистік қоректену стратегиясына тән. Жаздың басынан (маусым-шілде) бастап тіркелулер санының азаюы және олардың белгілі бір орманды-тоғайлы аумақтарда ғана шоғырлануы қабандардың репродуктивтік кезеңмен, сондай-ақ жоғары температура жағдайында ылғалды, көлеңкелі биотоптарды таңдауымен түсіндіріледі. Аюсай мен Галя тоғай аумақтарының барлық дерлік маусымда тіркелуі бұл учаскелердің экологиялық тұрғыдан тұрақты және маңызды мекен екендігін көрсетеді.

Жалпы алғанда, қабанның «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағындағы маусымдық таралуы динамикалық сипатқа ие және табиғи-климаттық факторлармен қатар, орман типтері мен азықтық ресурстардың кеңістіктік орналасуына тәуелді екені анықталды. Бұл деректер қабан популяциясын басқару, мониторинг жүргізу және антропогендік факторларды азайту шараларын жоспарлау үшін ғылыми негіз бола алады.

2025 жылы «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағында қабанның (*Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) тамыз-қараша айлары аралығындағы маусымдық таралу ерекшеліктері зерттелді (4-кесте).

4-кесте – 2025 ж. «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі территориясында қабанның маусымдық (тамыз-қараша) таралу ерекшеліктері

Қабанның таралу аймақтары	тамыз	қыркүйек	қазан	қараша
Қабан				
Машатшөл	2\2	2\1	2\2	1\1\2
Киікбай		3\1\2		3\1\1
Аюсай	3\1\1		1\2\3	

4-кестенің жалғасы

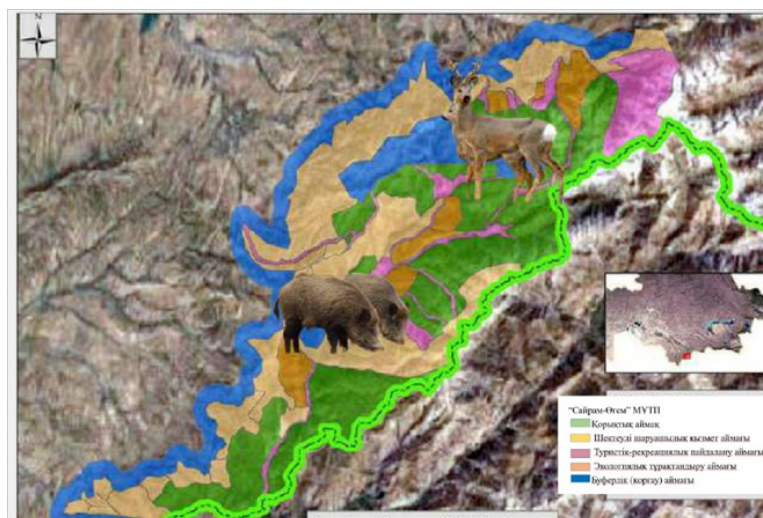
Молбұлақ		2\4	1\2	1\2\1
Доңызтау	2\2\3		1\1\3	
Ақмойнақ			3\3\3	
Қызылжар	2\1\3\1	2\3	1\2\1	3\3\1
Кенжебай			1\3\2	
Жамантас		2\2\3		1\2\3
Жантеке	1\2\1		2\1\3	
Алмалы	2\2		2\2	
Жаужүрек	1\1	3\2\3\1		
Диірменбастау			1\2\3\4	4\2
Ақкөйлек	2	2\4	1\2	
Алма баудың іші	2\2\3	1\1\3		
Құмкезең	3\2\3\1	2\1\1	4\2\4\1	2\2\2
Шошақ төбе	1\2\1	2\5	1\1\3\2	3\3\1
Галя тоғай	3\2\3		1\3\2	
Тас бастау		2\2\3		1\2\3

Кестеде келтірілген деректер күзгі кезеңде қабанның кеңістіктік таралуы мен шоғырлану деңгейінің нақты өзгеретінін көрсетеді. Тамыз айында қабан Машатшөл, Аюсай, Доңызтау, Қызылжар, Жантеке, Алмалы, Жаужүрек, Ақкөйлек, «алма баудың іші», Құмкезең, Шошақ төбе, Галя тоғай және басқа да учаскелерде тіркелді. Бұл кезеңде тіркелулердің жоғары болуы жазғы маусымнан кейін азықтық белсенділіктің артуымен және жануарлардың кең аумаққа таралуымен байланысты. Қыркүйек айында қабанның таралуы бірқатар аумақтарда шоғырланғаны анықталды. Киікбай, Молбұлақ, Қызылжар, Жамантас, Ақкөйлек, Құмкезең және Шошақ төбе учаскелерінде тіркелу жиілігінің жоғарылауы байқалды. Бұл жағдай күзгі азықтық ресурстардың (жабайы жемістер, тамыр түйнектер) молаюымен және қабандардың қор жинау кезеңіне өтуімен түсіндіріледі. Қазан айында қабанның таралу аймақтары салыстырмалы түрде қысқарып, негізінен Машатшөл, Аюсай, Молбұлақ, Доңызтау, Қызылжар, Кенжебай, Жантеке, Алмалы, Диірменбастау, Ақкөйлек, Құмкезең, Шошақ төбе, Галя тоғай және басқа орманды-тоғайлы аумақтармен шектелді. Бұл кезеңде тіркелулердің біршама тұрақтануы қабандардың қысқа дайындық кезеңімен сәйкес келеді. Қараша айында қабанның таралуы айқын түрде шектеліп, Машатшөл, Киікбай, Молбұлақ, Қызылжар, Жамантас, Диірменбастау, Құмкезең, Шошақ төбе және Тас бастау аумақтарында ғана тіркелді. Бұл күздің соңында жануарлардың қысқы паналауға қолайлы, қар жамылғысы жұқа және азықтық база сақталған учаскелерге шоғырланатынын көрсетеді.

Алынған нәтижелер қабанның күзгі маусымдағы таралуы азықтық ресурстардың қолжетімділігімен, климаттық жағдайлардың өзгеруімен және қысқы паналау орталарын таңдаумен тығыз байланысты екенін көрсетеді. Тамыз-қыркүйек айларында тіркелулердің жоғары және кең аумаққа таралуы қабандардың қор жинау (гиперфагия) кезеңіне тән мінезқылқын айқындайды. Қыркүйек-қазан айларында «Алма баудың іші», Құмкезең, Шошақ төбе және Ақкөйлек сияқты учаскелерде қабан белсенділігінің артуы олардың мәдени және табиғи жеміс беретін аймақтарға бағдарлануын көрсетеді. Қараша айында тіркелулер санының және таралу аумағының қысқаруы температураның төмендеуімен, күн ұзақтығының қысқаруымен және алғашқы қар жамылғысының түсуімен байланысты. Осы кезеңде қабандар негізінен орманды, тоғайлы және жер бедері күрделі, паналық қасиеті жоғары биотоптарды таңдайды. Машатшөл, Қызылжар, Құмкезең және Шошақ төбе учаскелерінде күздің соңына дейін маңызын сақтауы олардың экологиялық тұрғыдан тұрақты мекен екенін көрсетеді.

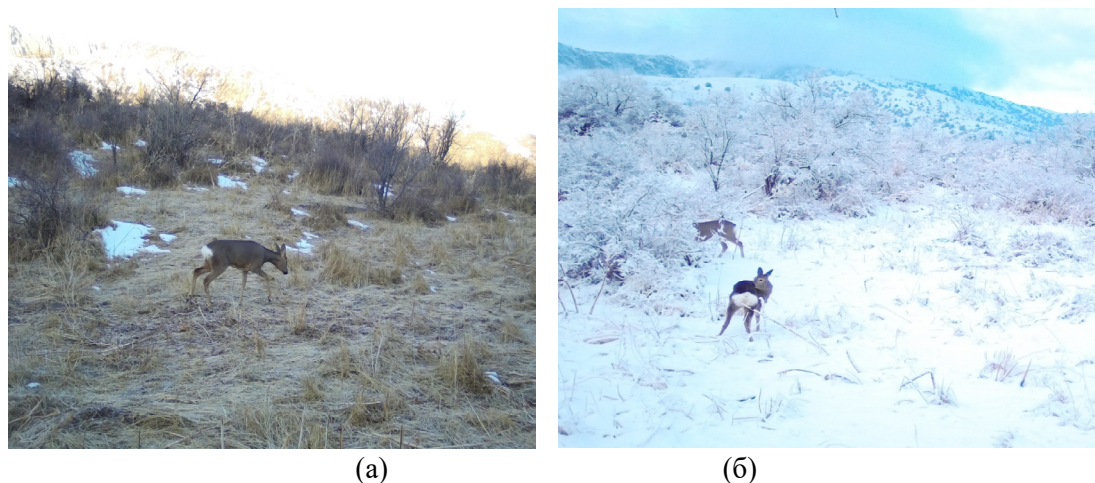
Жалпы алғанда, қабанның «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағындағы тамыз-қараша кезеңіндегі таралуы динамикалық сипатқа ие болып, азықтық ресурстардың маусымдық өзгерісі мен климаттық факторларға тікелей тәуелді екені анықталды. Бұл мәліметтер қабан популяциясын тиімді басқару, күзгі мониторинг жұмыстарын жоспарлау және

антропогендік факторларды алдын алу шараларын әзірлеу үшін маңызды ғылыми негіз болып табылады 2025 жылы «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркі аумағында қабанның (*Sus scrofa Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) тамыз-қараша айлары аралығындағы маусымдық таралу ерекшеліктері зерттелді (1-сурет).



1-сурет – «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі сібір елігі мен қабанның физика-географиялық таралуы

Сайрам-Өгем мемлекеттік ұлттық табиғи паркі (МҰТП) әкімшілік-аумақтық тұрғыда үш филиалға бөлінеді: Өгем, Төлеби және Түлкібас [13]. Сібір елігі (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) мен қабанның (*Sus scrofa Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) санын есепке алу жұмыстары әр филиал аумағында жеке-жеке жүргізілді, бұл зерттеу нәтижелерінің нақтылығы мен салыстырмалылығын арттыруға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері Сібір елігінің мекен ету ерекшеліктері маусымдық факторларға тікелей тәуелді екенін көрсетті. Жазғы кезеңде еліктер таудың жоғарғы зоналардағы альпілік және субальпілік жайылымдарға қоныс аударады. Бұл кезеңде азық қорының молдығы мен қолайлы климаттық жағдайлар олардың жоғары белдеулерде шоғырлануына әсер етеді. Қыс мезгілінде қар жамылғысының қалыңдауы мен температураның төмендеуіне байланысты еліктер таудың төменгі белдеулеріне көшеді. Кейбір жағдайларда олардың парк аумағынан тыс жерлерде де байқалуы тіркелді, бұл қысқы жайылымдардың шектеулілігімен және азық тапшылығымен байланысты болуы мүмкін. Көктем және күз айларында Сібір елігі негізінен тау аңғарлары бойындағы өзен жағалауларында, арша мен бұта ағаштар өскен тоғайлы аумақтарда жиі кездеседі. Аталған аймақтар бұл кезеңдерде қорек пен жасырынып паналауға қолайлы жағдай туғызады (2- сурет).



2-сурет – Сайрам-Өгем МҰТП аумағындағы сібір елігі (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771)

Жалпы алғанда, алынған деректер Сібір елігінің таралуы мен маусымдық миграциясы табиғи-климаттық жағдайлармен және ландшафтық ерекшеліктермен тығыз байланысты екенін көрсетеді.

2025 жылы Сайрам-Өгем мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің үш филиалында жүргізілген санақ нәтижелері бойынша сібір елігінің жыныстық-жастық құрылымында филиалдар арасында айқын айырмашылықтар байқалды (5-кесте).

5-кесте – 2025 ж. Сайрам-Өгем МҰТП аумағындағы сібір елігінің санақ нәтижелері

Филиалдар	Аталықтар, дарақ	Аналықтар, дарақ	Төлдер, дарақ	Барлығы, дарақ
Өгем	59	48	55	162
Төлеби	44	43	33	120
Түлкібас	24	17	17	58
Орташа	42,3	36,0	35,0	113,3

Аталық дарақтардың орташа саны 42,3, аналықтардың 36,0, ал төлдердің 35,0 дарақты құрады. Жалпы дарақтардың бір филиалға шаққандағы орташа саны 113,3 болды. Стандарттық қателіктің салыстырмалы түрде жоғары болуы популяция тығыздығының филиалдар арасында біркелкі еместігін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері бойынша қабан (*Sus scrofa Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) ұлттық парк аумағында негізінен Батыс Тянь-Шань тау сілемінде таралғаны анықталды. Атап айтқанда, түрдің тұрақты кездесетін негізгі аймағы-парк аумағындағы Түлкібас филиалы болып табылады. Бұл филиал Ақсу-Жабағылы мемлекеттік табиғи қорығымен шектес орналасқан, соған байланысты қабандар парк пен қорық аумағы арасында маусымдық миграция жасайды. Мұндай қоныстану олардың қорек қоры мен климаттық жағдайларға бейімделу стратегиясымен байланысты. Қабан Төлеби және Өгем филиалдары аумағында да кеңінен таралған. Бұл өңірлерде түрдің негізгі таралу аймақтары солтүстік-шығыс, солтүстік-батыс бөліктерді, сондай-ақ орталық және солтүстік аймақтарды қамтиды. Әсіресе Өгем орманшылығы территориясындағы өрік пен алма бақтары қабанның негізгі мекендеу ортасы болып табылады, себебі бұл аймақтарда қорек қоры мол және паналауға қолайлы жағдай қалыптасқан (3-сурет).

Сайрам-Өгем МҰТП аумағында есепке алу жұмыстарының нәтижесінде қабанның орташа саны 133,0 дарақты құрайтыны анықталды (6-кесте).

6-кесте – 2025 ж. Сайрам-Өгем МҰТП аумағындағы қабанның санақ нәтижелері

Филиалдар	Аталықтар, дарақ	Аналықтар, дарақ	Төлдер, дарақ	Барлығы, дарақ
Өгем	85	74	73	232
Төлеби	39	40	34	113
Түлкібас	21	15	18	54
Орташа	48,3	43,0	41,7	133,0

Аталықтардың орташа саны 48,3 дарақ, аналықтар 43,0 дарақ, ал төлдердің орташа көрсеткіші 41,7 дарақты құрады. Әсіресе Өгем филиалында дарақ санының жоғары болуы бұл аумақта қорек қорының молдығы мен мекен етуге қолайлы жағдайлардың болуымен байланысты.



(а)

(б)

3-сурет – Сайрам-Өгем МҰТП аумағындағы қабан
(*Sus scrofa Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) популяциясы

Қорытынды

2025 жылы жүргізілген кешенді далалық бақылаулар мен санақ нәтижелері «Сайрам-Өгем» мемлекеттік ұлттық табиғи паркінде сібір елігі (*Capreolus pygargus Pallas, 1771*) мен қабанның (*Sus scrofa Sus scrofa*, Linnaeus, 1758) маусымдық таралуы мен саны табиғи-климаттық және экологиялық факторларға тікелей тәуелді екенін көрсетті. Зерттеу деректері бұл жануарлардың кеңістіктік таралуы қоректік базаға, су ресурстарына, биіктік белдеулеріне және маусымдық климаттық жағдайларға байланысты айқын өзгеретінін дәлелдейді. Сібір елігінің жыл бойғы таралуы көктем-жаз кезеңінде су көздеріне жақын, өсімдік жамылғысы жақсы дамыған төменгі және орта белдеулермен, ал күз-қыс айларында қоректік қоры мол, қар жамылғысы жұқа төменгі биіктіктегі алқаптармен сипатталды. Галия тоғайы, Тасбастау, Аршалы және Ақмойнақ сияқты аумақтардың маусым сайын тұрақты мекен ретінде маңыздылығы анықталды. Бұл аумақтар сібір елігінің тіршілік етуі үшін негізгі экологиялық факторлар - су, қорек және паналық жағдайларды қамтамасыз етеді.

Ерте көктем мен жаздың басында қабандар төменгі және орта биіктіктегі, азықтық ресурстары мол аумақтарда тіркелсе, жаздың ортасынан бастап тығыз өсімдікті, ылғалды және антропогендік әсері төмен орманды-тоғайлы биотоптарға шоғырланды. Күзгі кезеңде қабанның таралуы мен белсенділігі қор жинау кезеңімен сәйкес келіп, мәдени және жабайы жеміс ағаштары өсетін учаскелерде жоғары деңгейде байқалды. Қараша айында таралу аумағы айтарлықтай шектеліп, қысқы паналауға қолайлы, экологиялық тұрғыдан тұрақты мекендерде ғана сақталды.

Санақ нәтижелері сібір елігі мен қабан популяцияларының жыныстық-жастық құрылымында филиалдар арасында айырмашылық бар екенін көрсетті. Бұл жағдай парк аумағындағы мекен ету ортасының әркелкілігімен және азықтық ресурстардың кеңістіктік бөлінуімен байланысты. Сібір еліктерінің бір филиалға шаққандағы орташа саны 113,3 болды. Қабанның орташа саны 133,0 даракты құрайтыны анықталды. Әсіресе Өгем филиалында қабан санының жоғары болуы бұл аумақта экологиялық жағдайлардың қолайлылығын көрсетеді. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер «Сайрам-Өгем» МҰТП аумағында сібір елігі мен қабан популяцияларының экологиялық ерекшеліктерін терең түсінуге мүмкіндік береді және осы түрлерді қорғау, тұрақты пайдалану, мониторинг жүргізу мен басқару стратегияларын әзірлеу үшін маңызды ғылыми негіз болып табылады. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері антропогендік қысымды азайту және негізгі мекендеу аймақтарын сақтауға бағытталған табиғатты қорғау шараларын жетілдіруге септігін тигізеді.

Авторлардың қосқан үлесі

ОН, МБ, және КЖ: зерттеудің тұжырымдамасын жасады және жобалады, жан-жақты әдебиеттерді іздестірді, жиналған деректерді талдап, қолжазбаның жобасын жасады. АА, ГБ және БЛ: қолжазбаның соңғы редакциясын және коррекциясын орындады. Барлық авторлар қолжазбаның соңғы редакциясын оқып, қарап, бекітті.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Сәттімбеков, Р., Келемсейіт, Е., Шілдебаев, Ж. (2012). *Қазақстан ерекше қорғалатын табиғи аумақтар және биоалуантүрлілік*. Оқу құралы. Алматы: Нұр-Принт, 133-136.
- 2 Мусабаев, Х.Ш., Чумакаев, К.Х. (2005). *Орман шаруашылығы, ерекше қорғалатын табиғи аумақтар және жануарлар дүниесі жайлы нормативтік құқықтық актілер жинағы*. Астана: II, 11-15.
- 3 Рашитов, С.С., Карағойшин, Ж.М., Нұрғожаева, Н.М., Бұршақбаева, Л.М. (2020). *Кәсіптік аңдар битологиясы*. Нұр-Сұлтан: 233-245.
- 4 Бербер, А.П. (2000). *Охотничье-промысловые ресурсы Казахстана*. Астана: 15.
- 5 Li, Y., Li, Y., Hu, Y., Guo, J., Shao, X., Gao, H. (2023). Available forage and conditions for avoiding predation of Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*). *Forests*, 14(10), 2072. DOI: 10.3390/f14102072.
- 6 Wang, L., Feng, J., Mou, P., Wang, T. (2023). Relative abundance of Roe deer (*Capreolus pygargus*) related to overstory structure and understory food resources in Northeast China. *Global Ecology and Conservation*, 46. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02542.
- 7 Caryl, S.B., et al. (2022). Modelling the Relative Abundance of Roe Deer (*Capreolus capreolus* L.) along a Climate and Land-Use Gradient. *Animals*, 12(3), 222. DOI:10.3390/ani12030222.
- 8 Hidalgo-Toledo, S.P., Pérez-González, J., Hidalgo-de-Trucios, S.J. (2025). The Landscape of Fear and Wild Boar (*Sus scrofa*) Spatial Use in a Peri-Urban Area from West-Central Spain. *Land*, 4, 9. DOI:10.3390/land14091845.
- 9 Massei, G., Kindberg, J., Licoppe, A., et al. (2015). Wild boar populations up, numbers of hunters down? A review of trends and implications for Europe. *Pest Management Science*, 71(4), 492-500. DOI: 10.1002/ps.3965.
- 10 Рахмонов, Р.Р. (2022). Биология, Экология и распространение кабана. *Research Journal of Trauma and Disability Studies*, 1:10, 49-61.
- 11 Машкин, В.И. (2013). *Методы изучения охотничьих и охраняемых животных в полевых условиях*. СПб.: Лань, 432.
- 12 Жабайы жануарлардың кейбір түрлерін есепке алуды жүргізуге арналған әдістемелік ұсынымдар. Қазақстан Республикасының Ауыл шаруашылығы министрлігіне қарасты Орман және аңшылық шаруашылығы комитетінің төрағасының 2005 жылғы 23 тамыздағы № 191 бұйрығымен бекітілген. (2005). <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2000020540>.
- 13 *Сайрам-Өгем МҮТП әдістемелік жинағы*. (2020). Шымкент.

References

- 1 Sättimbekov, R., Kelemseit E., Shildebaev J. (2012). *Qazaqstan erekshe qorǵalatyn tabıǵı aýmaqtar jáne bioalýantúrlilik. Oqý quraly*. Almaty: Nur-Print, 133-136. [in Kaz].
- 2 Mýsabaev, H.Sh., Chýmakaev, K.H. (2005). *Orman sharyashylyǵy, erekshe qorǵalatyn tabıǵı aýmaqtar jáne janyarlar dúnesi jaily normativtik quqyqtyq aktiler jinaǵy*. Astana: II, 11-15. [in Kaz].
- 3 Rashitov, S.S., Karaǵoıshın J.M., Nurǵojaeva, N.M., Burshaqbaeva, L.M. (2020). *Kásiptik ańdar bitologuasy*. Nur-Sultan: 233-245. [in Kaz].
- 4 Berber, A.P. (2000). *Ohotniche-promyslovye resýrsy Kazahstana*. Astana: 15. [in Russ].
- 5 Li, Y., Li, Y., Hu, Y., Guo, J., Shao, X., Gao, H. (2023). Available forage and conditions for avoiding predation of Siberian roe deer (*Capreolus pygargus*). *Forests*, 14(10), 2072. DOI: 10.3390/f14102072.
- 6 Wang, L., Feng, J., Mou, P., Wang, T. (2023). Relative abundance of Roe deer (*Capreolus pygargus*) related to overstory structure and understory food resources in Northeast China. *Global Ecology and Conservation*, 46. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02542.
- 7 Caryl, S.B., et al. (2022). Modelling the Relative Abundance of Roe Deer (*Capreolus capreolus* L.) along a Climate and Land-Use Gradient. *Animals*, 12(3), 222. DOI: 10.3390/ani12030222.
- 8 Hidalgo-Toledo, SP, Pérez-González, J., Hidalgo-de-Trucios, SJ. (2025). The Landscape of Fear and Wild Boar (*Sus scrofa*) Spatial Use in a Peri-Urban Area from West-Central Spain. *Land*, 4, 6. DOI: 10.3390/land14091845.

9 Massei, G., Kindberg, J., Licoppe, A., et al. (2015). Wild boar populations up, numbers of hunters down? A review of trends and implications for Europe. *Pest Management Science*, 71(4), 492-500. DOI: 10.1002/ps.3965.

10 Rahmonov, R.R. (2022). Биология, Экология 1 тарсiprostranenie kabana. *Research Journal of Trauma and Disability Studies*, 1:10, 49-61. [in Russ].

11 Mashkin, V.I. (2013). *Metody izychnenua ohotnichih i ohranaemyh jivotnyh v polevyh ysloviyah*. SPb.: Lan', 432. [in Russ].

12 Jabay janýarlardyń keibir túrlerin esepke alýdy júrgizýge arnalǵan ádistemelik usynymdar. Qazaqstan Respýblikasynyń Aýyl sharyashylyǵy ministrigine qarasty Orman jáne ańshylyq sharyashylyǵy komitetiniń tóraǵasynyń 2005 jylǵy 23 tamyzdaǵy № 191 buiryǵymen bekitilgen. (2005). <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V2000020540> [in Kaz].

13 *Sauram-Ógem MUTP ádistemelik jinaǵy*. (2020). Shymkent.

Распространение и численность сибирской косули и кабана в Сайрам-Угамском государственном национальном природном парке

Орынбасар Н.Қ., Майсупова Б.Д., Карагойшин Ж.М., Асылбекова А.С., Баринова Г.К., Буршакбаева Л.М.

Аннотация

Предпосылки и цель. Изучение состояния популяций парнокопытных животных на особо охраняемых природных территориях имеет важное значение для сохранения биоразнообразия. В статье рассмотрены особенности распространения сибирской косули (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) и кабана (*Sus scrofa* *Sus scrofa*, Linnaeus, 1758), а также динамика их численности на территории Сайрам-Угамского государственного национального природного парка. Изучение особенностей распространения и динамики численности является актуальным для научного обоснования эффективных мер охраны популяций.

Материалы и методы. Исследовательские работы проводились в 2024-2025 годах на территории Сайрам-Угамского государственного национального природного парка. Объектами исследования послужили популяции сибирской косули и кабана, обитающие в пределах парка. В соответствии с программой исследований были определены особенности пространственного распределения указанных видов на территории природного парка, показатели их учета, кормовая база и популяционная структура. С целью выявления особенностей распределения сибирской косули в Сайрам-Угамском государственном национальном природном парке наряду с полевыми наблюдениями были использованы результаты специально разработанных анкет, распространенных среди лесничих и специалистов охотничьего хозяйства.

Результаты. В ходе наблюдений установлены различия в биотопическом распределении самцов и самок. Результаты учётных работ показали наличие межфилиальных различий в половозрастной структуре популяций сибирская косуля и кабан. Установлено, что выявленные различия обусловлены пространственной неоднородностью местообитаний на территории парка, а также особенностями распределения кормовых ресурсов.

Заключение. Полученные результаты позволяют глубже понять экологические особенности популяций сибирского благородного оленя и кабана на территории ГНПП «Сайрам-Угам» и служат важной научной основой для охраны этих видов, их устойчивого использования, проведения мониторинга и разработки стратегий управления. Кроме того, результаты исследования способствуют совершенствованию природоохранных мероприятий, направленных на снижение антропогенной нагрузки и сохранение ключевых ареалов обитания.

Ключевые слова: кабан; государственный национальный природный парк; сибирская косуля; численность; распространение.

Distribution and population size of the siberian roe deer and wild boar in the Sairam-Ugam state national nature park

Nurgul K. Orynbassar, Bagila D. Maisupova, Zhaskaiyr M. Karagoishin,
Ainur S. Asylbekova, Gulnaz K. Barinova, Laura M. Burshakbaeva

Abstract

Background and Aim. Studying the population status of even-toed ungulates in specially protected natural areas is essential for the conservation of biodiversity. This article examines the distribution patterns of roe deer (*Capreolus pygargus* Pallas, 1771) and wild boar (*Sus scrofa* *Sus scrofa*, Linnaeus, 1758), as well as the dynamics of their population sizes in the Sairam-Ugam State National Nature Park. Analysis of their distribution patterns and population dynamics is important for the scientific substantiation of effective conservation measures for populations.

Materials and Methods. The study was conducted in 2024-2025 within the territory of the park. The study focused on populations of Siberian roe deer and wild boar inhabiting the park. In accordance with the research program, the spatial distribution patterns of these species, population assessment indicators, food resources, and population structure were determined. To identify the distribution characteristics of the Siberian roe deer in the Sairam-Ugam State National Nature Park, field observations were supplemented by the results of specially designed questionnaires distributed among foresters and hunting management specialists.

Results. Observations revealed differences in the biotopic distribution of males and females. The survey results also demonstrated inter-branch differences in the sex and age structure of the Siberian roe deer and wild boar populations. It was established that these differences were associated with the spatial heterogeneity of habitats within the park, as well as with patterns in the distribution of food resources.

Conclusion. The results obtained allow for a deeper understanding of the ecological characteristics of Siberian roe deer and wild boar populations within the Sairam-Ugam State National Natural Park and provide an important scientific basis for the conservation of these species, their sustainable use, monitoring, and the development of management strategies. Furthermore, the findings contribute to the improvement of conservation measures aimed at reducing anthropogenic pressure and preserving key habitats.

Keywords: *Capreolus pygargus* Pallas; State National Nature Park, population; *Sus scrofa*; Linnaeus; distribution.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-169-179. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2131

ЭОЖ 630*181.351

Зерттеу мақаласы

Іле өзенінің бойындағы тоғай ормандарының жерасты суы деңгейін зерттеу

Досманбетов Д.А.¹, Еркинбекова Г.К.², Каспакбаев Е.М.¹, Ахметов Р.С.¹
Майсупова И.К.², Копабаева А.А.²

¹Ө.Н. Бөкейхан атындағы Қазақ орман шаруашылығы және агроорманмелиорация ғылыми-зерттеу институты, Алматы филиалы, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

Корреспондент-автор: Каспакбаев Е.М.: kaspakbaeverganat1971@yandex.ru

Бірлескен авторлар: (1: ДД) daniyar_d.a.a@mail.ru; (2: ГЕ) gulimtore86@mail.ru
(3: РА) ars_28@mail.ru; (4: ИМ) Indi8484MIK@mail.ru; (5: АК) araiка-05.10@mail.ru
Қабылданған күні: 28.01.2026 **Қабылданды:** 03.03.2026 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Зерттеу жұмысы Іле өзенінің бойындағы тоғай ормандары аумағындағы жерасты суы деңгейінің өзгерісін, оның маусымдық динамикасын және экожүйеге әсерін анықтауға бағытталған. Орта Азиядағы тоғай экожүйелерінің деградациясы негізінен өзен ағысын антропогендік реттеу мен климаттың өзгеруіне байланысты. Су тасқыны режимінің өзгеруі, топырақ тұздануының күшеюі және ағаш-бұта қауымдастықтарының табиғи жаңару мүмкіндігінің төмендеуі тоғайлардың деградациясына әкеліп, олардың экологиялық тұрақтылығына кері әсер етеді.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында өзен аңғары маңындағы және орталық террасалық бөліктерде бақылау ұңғымалары орналастырылып, көктем, жаз және күз мезгілдерінде жерасты суының деңгейі өлшенді. Нәтижелерге сәйкес, өзен аңғары террасасында көктемде жерасты суының деңгейі 1,8 м болса, күзде 2,1 м дейін төмендеген, ал орталық террасаларда көктемде 3,1 м күзде 3,7 м дейін төмендеген. Аталған айырмашылықтардың жер бедері ерекшеліктеріне және өзен арнасымен гидравликалық байланыстың деңгейіне тәуелді екені анықталды.

Нәтижелер. Зерттеу жерасты суы деңгейінің маусымдық ауытқуларын топырақтың физикалық-химиялық қасиеттерімен, жауын-шашын мөлшерімен, булану және транспирация арқылы өсімдік жамылғысының су тұтынуымен өзара байланыста қарастыруға мүмкіндік берді. Көктем мезгілінде қардың еруі мен көктемгі тасқындар сулы қабаттардың толығына ықпал етеді, ал жаз айларында булану мен атмосфералық ылғал тапшылығы су деңгейінің төмендеуіне себеп болады. Бұл мәліметтер тоғай ормандарын қалпына келтіруде және деградацияланған жерлерде екпелердің тиімділігін анықтауда практикалық маңызға ие.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері Іле өзені бойындағы тоғай экожүйелерінің гидрогеологиялық жағдайларын, топырақ тұздануы мен жерасты су деңгейін ескере отырып, экологиялық тұрақтылықты сақтау және деградацияланған учаскелерді қалпына келтіру стратегияларын әзірлеуге мүмкіндік береді. Жерасты суларының режимін тиімді реттеу экожүйелердің табиғи динамикасын қалпына келтіруге, биоәртүрлілікті сақтауға және су ресурстарын ұтымды пайдалануға жағдай жасайды.

Кілт сөздер: гидрогеология; жерасты суы; маусымдық динамика; тоғай орманы; топырақтың тұздануы; Іле өзені.

Кіріспе

Қазіргі уақытта Орталық Азиядағы ағын суды реттеу және гидротехникалық құрылысты кеңінен пайдалану нәтижесінде, тоғай ормандарының табиғи жаңаруы тоқтады. Қуаңшылық аймақтардағы су ресурстарының тапшылығын және ағыны реттелетін өзендер режимін өзгерту мүмкіндігінің жоқтығын ескере отырып [1], қоршаған ортаның өзгеріске ұшыраған жағдайында табиғи су режимін қалпына келтіру үшін негізгі сақталған тоғай массивтерін екпе түрінде қалпына келтіру және олардың өсуіне қолдау мүмкіндігіне жаңа тәсілдерді әзірлеу өзекті міндет болып табылады.

Жерасты суы мен су тасқыны режимінің өзгеруіне алып келетін өзен ағынын антропогендік реттеу Орта Азияның тоғай экожүйелерінің кең таралған деградациясының негізгі себебі болып табылады.

Климаттың жаһандық өзгеруі Орта Азияның тоғай экожүйелеріндегі кең таралған деградациясының негізгі себептерінің бірі. Зерттеу аймағында климаттың өзгеруінің бірыңғай тенденциясы: жылы кезеңде, жазда және күзде температураның жоғарылауы және жауын-шашынның азаюы, сондай-ақ суық кезеңде, негізінен күзде, қыс мезгілінде де, температураның көп жылдық деректермен салыстырғанда жылы болуы байқалады.

Тоғай экожүйелерінің деградациясының салдары өсімдіктер типінің түбегейлі өзгеруі болып табылады, топырақтың гидроморфтық режимінің автоморфтыға өзгеруі нәтижесінде, ол шалғынды гидроморфтыдан бастап, терең тұзданған әртүрлі тұзды сортаңдар пайда болады.

Деградацияға ұшыраған тоғай экожүйелері өсімдік түрлерінің аз болуымен, қауымдастықтар құрамының әлсіз өзгеруімен және сүрек өнімділігінің төмен болуымен сипатталады.

Қазіргі уақытта табиғаттың өзгермелі жағдайларында Орта Азияның тоғай экожүйелерін галофитті тоғай түрлерінен қайта жандандыру қажет. Деградацияға ұшыраған, тұзды автоморфты жерлерде тоғайларды галофиттік түрден құралған зерттеу нұсқаларымен қалыптастыру мүмкіндігі тәжірибе түрінде дәлелденген.

Ғылыми негізделген ұсынымдарды пайдалану және деградацияға ұшыраған сортаң жерлердегі экожүйелерді қалпына келтірудің эксперименттік тәжірибесін қолдану арқылы қазіргі уақыттағы қоршаған ортаның жылдам өзгеретін жағдайында тоғайлардың кең таралған деградациясы мәселесін шешуге мүмкіндік береді.

Тоғай – шығу орталығы Орта Азия болып есептелетін және үштік дәуірдегі флораның ежелгі ерекшеліктерін сақтаған өсімдіктердің өзгеше реликті тип. Қазіргі тоғайлар – бұл Алдыңғы, Орта және Орталық Азия өзендерінің аңғарларында кең таралған ағаш-бұталы және шөпті қауымдастықтар, қазіргі кезде олардың жаппай деградациясы және таралу аймағының тұрақты азаюы байқалады.

Қазақстанның қазіргі тоғай ормандары оңтүстіктегі өзендердің – Сырдария, Шу, немесе т.б. жайылмаларында өсетін ағаш, бұта және шөпті қауымдастықтардан құралған. Олардың жалпы ауданы шамамен 400 мың га құрайды, оның шамамен 150 мың га орманмен қамтылған. Тоғай ормандарының топырақты қорғауда, суды реттеу мен қорғауда, өзен жағалауын нығайтуда маңызы зор [2]. Кейбір жағдайларда олар қорғаныш функциясын орындайды және сулы-батпақты алқаптарды биодренаждауды жүзеге асырады [3].

Тоғай ормандары – бірегей шоқталған өсімдіктер қауымдастығы болып саналады, олардың пайда болуы және тіршілік етуі белгілі бір өзен жүйелерімен тығыз байланысты [4, 5]. Тоғай ормандары желден қорғайтын құрал ретінде және құмды бекітуде, суды үнемдеуде және биоәртүрлілікті сақтауда маңызды рөл атқарады [6, 7].

Тоғай ормандары аумағының азаюы флора мен фаунаның көптеген құнды, сирек кездесетін және реликті түрлерінің жоғалуына, сонымен қатар тоғай ормандарының суды қорғау мен реттеу, жағалауды қорғау және мелиорациялық функцияларын бұзады, бұл адамзаттың тіршілік ету ортасының деградациясына және шаруашылық қызметінің кейбір түрлерінің төмендеуіне алып келеді [8].

Орта Азиядағы тоғайлардың антропогендік деградациясының негізгі себебі өзен ағынын реттеу болып табылады, бұл су тасқыны режимінің өзгеруіне (әдетте өзен аңғарларының сулануының төмендеуіне алып келеді), топырақ түзілуінің сипаты мен қарқындылығының өзгеруіне (тұздандудың жоғарылауы, топырақ құрамының өзгеруі, тығыздалуы, тақырға айналуы)

және ағаш-бұта мен шөп қауымдастықтарының табиғи жаңару мүмкіндігінің жоғалуына алып келеді.

Су ағынын антропогендік реттеумен қатар, климаттың өзгеруі де Орта Азиядағы реликті тоғай экожүйелерінің кең таралған деградациясының негізгі себебі болып табылады, өйткені климаттың өзгеруінің негізгі тенденциялары (жылы жартыжылдықта, жазда және күзде температураның жоғарылауы және жауын-шашынның азаюы, сондай-ақ жылы кезеңнің ұзаруы) вегетациялық кезеңде жайылма аймақтарының құрғауының жоғарылауына ықпал етеді.

Тоғай экожүйелерінің табиғи динамикасы тікелей (ағаш кесу, шөп шабу, өрт) және жанама (өзен ағынын реттеу) сипаттағы антропогендік әсер ету нәтижесінде бұзылады; динамикалық процестің жалпы бағыты күрт қозғалады – галофитизация және топырақтың құрғауы; барлық жерде тоғайда типтік (шартты түрде байырғы) ағаш-бұта қауымдастықтарының жоғалуы байқалады, тек қауымдастық топтары ғана емес, сонымен бірге тоғайдағы өсімдіктердің толығымен жеке формациялары; ағаш-бұталы тоғайлардың орнына бұрын кең таралмаған шөпті және галофитті қауымдастықтардың әр түрлерімен ауыстырылуда [9].

Қазіргі тоғайлардың негізгі бөлігі (ауданның 95%-на дейін) деградацияланған экожүйелерге жатады, олар қауымдастықтардың қарапайым құрылымымен, өсімдік түрлерінің аз болуымен, және өнімділігінің төмендеуімен сипатталады.

Тоғайларды қалпына келтіру үшін деградацияланған топырақтың тұздану дәрежесі мен сипатына және сулану мүмкіндіктеріне байланысты қауымдастықтарды қалпына келтірудің арнайы әдістерін (яғни, сапасы жағынан әртүрлі суды - өзен немесе коллекторлық-дренаждық суды пайдалану, сондай-ақ аумақтарды ылғалдандырудың әртүрлі режимін қолдану: судың жетіспеушілігі кезінде бастапқыда ең аз мөлшерде сирек суарудан бастап, жыл сайынғы жасанды су басуға дейін) қолдану қажет. Төмен және орташа тұздану дәрежесіндегі коллекторлық-дренаждық суды шектеулі пайдалану кезінде тек қана тоғайларда галофиттік өсімдіктерді өсіруге болады. Сонымен қатар, өзен суын жеткілікті мөлшерде пайдаланған кезде, тіпті өте және терең тұздалған (2,5 м дейін) топырақтарда да типтік тоғай экожүйелерін қалпына келтіруге болады.

Материалдар мен әдістер

Жер қойнауындағы кез-келген су «жерасты суы» деп аталады. Ол тау жыныстарының минералды бөлшектері арасындағы бос жерлерді, жарықтар мен ұсақ бос қуыстарды толтырады. Сумен қаныққан жер қабаты сулы қабат немесе су қабаты деп аталады. Жерасты суы – жер қойнауындағы судың бір түрі. Ол жер бетіне жақын су өткізетін қабатта – бірінші су өткізбейтін қабатқа дейін орналасқан. Бұл өткізгіш қабат сумен толық қанықпайды. Сондықтан жерасты суының беті еркін, қысымсыз және ол суды бөгейтін қабатпен көмкерілмейді. Осыған байланысты жерасты суын құдықпен немесе ұңғымалармен ашқан кезде оның қабаты бастапқыда анықтаған тереңдік бойынша белгіленеді.

Жерасты суының режимін қалыптастыру үшін судың булануының мен транспирациясының маңызы зор. Бұл факторлардың әсері жерасты суының деңгейінің төмендеуіне алып келеді. Транспирация – өсімдіктердің суды тұтынуы, ол барлық жағдайларда оң құбылыс және биологиялық дренаждың мәні болып табылады. Булану кезінде жерасты суының деңгейі төмендейді, топырақтың жоғарғы қабаттарында зиянды тұздардың жиналуымен бірге жүреді. Жерасты суының қабаты жер бетінен 3 м төмен тереңдікте болған кезде, булану күрт төмендейді. Бақылау жүргізу арқылы әртүрлі өсімдіктердің транспирациялық қабілетінің әртүрлі екенін анықталған. Бұл әсіресе, ағаш өсімдіктерінде жоғары. Сондықтан каналдардағы судың булану шығынын азайту үшін суару каналдарының бойына ағаштар отырғызылады.

С. Трешкин [10] Амудария өзенінің жайылмасындағы тоғайларды зерттей отырып, алғаш рет экожүйелердің қалыптасуы мен динамикасына әсер ететін климаттың өзгеруінің негізгі тенденцияларын, негізінен Орта Азия тоғайларының өсу ареалы бойынша (көпжылдық климаттық сипаттамаларды талдау негізінде: ауаның орташа, минималды, максималды температурасы және жылдар мен маусымдар бойынша жауын-шашын мөлшері) анықтады. Олар тоғайлардың кең таралған деградациясы мәселесін шешудің тәсілдерін тапты, оның себептері табиғи ортаның

қазіргі қоршаған ортада жылдам өзгертін жағдайларында анықталды. Тоғай экожүйелерін трансформациялау механизмі анықталды. Олардың өзгеруінің негізгі факторлары: жайылмадағы өзен ағыны мен жерасты суының табиғи немесе антропогендік өзгерістері екендігі дәлелдеген.

Деградацияға ұшыраған тоғай экожүйелерінде өсімдік түрлері аз болады, қауымдастықтар құрамы әлсіз өзгеріп, өнімділігінің төмен болады. Орман шаруашылығы қызметкерлерінің табиғи тоғай ормандарын қалпына келтіру әрекеттері қазіргі уақытта нәтиже бермей отыр. Бұл тоғайдағы негізгі орман құраушы түрлерінің: *Populus ariana*, *Populus pruinosa*, *Elaeagnus turcomanica*, *Salix songarica*, *Tamarix ramosissima*, *Tamarix meyeri*, *Tamarix laxa*, *Tamarix florida* және т.б. [11] биологиясы мен даму ерекшеліктеріне байланысты.

Олардың ішіндегі ең маңыздысы – тоғайдағы ағаш түрлері тұқымдарының тек ылғалды, тұздалмаған топырақта өсуге қабілетті болуы. Тоғай қауымдастықтарының тіршілік ету процесінде олардың астындағы топырақ біртіндеп тұзданады. Су тасқыны тоқтаған жағдайда шалғынды және тоғайлы топырақ сортаңға айналады.

Орталық Азиядағы (Батыс және Шығыс Түрікменстан, Өзбекстан, Тәжікстан, Қазақстан, Алашань Гобиі) тоғай қауымдастықтарының проблемаларын зерттеу жөніндегі зерттеушілердің көпжылдық деректері тек геоботаникалық индикация негізінде қалпына келтіру жұмыстарына қолайлы аумақтарды дұрыс таңдау мүмкін еместігін анықталды, өйткені көптеген шөптесін өсімдік түрінің тамыр жүйесі алғашқы 1-1.5 м шегінде, ал ағаш және бұта түрі –1 м топырақтың жоғарғы қабатынан 4-6 м дейін тереңдікте орналасқан [12].

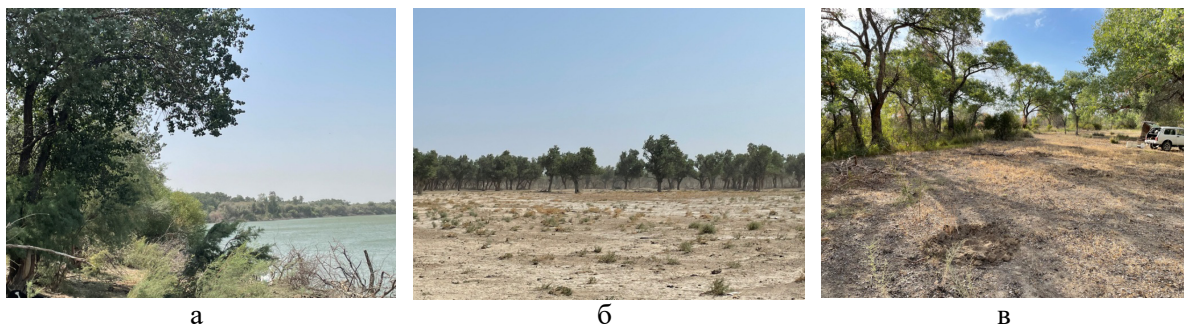
Тоғайдың ағаш-бұталы және шөпті экожүйелерін қалпына келтіру кезінде жерасты суының ұсынылған деңгейі, топырақ пен жерасты суының тұздану дәрежесі олардың әртүрлі динамикалық және жас кезеңдері үшін айтарлықтай өзгертінін ескеру қажет. Көпжылдық далалық және стационарлық зерттеулер арқылы жерасты суының деңгейінің шегін, олардың тұздану дәрежесін, сондай-ақ әртүрлі тоғай қауымдастықтары үшін табиғи жаңару жағдайларын бағалауға мүмкіндік берді [12].

Жерасты суының деңгейі 0.5-1.5 м ақ тал (*Salix songarica*), айрауық (*Calamagrostis dubia*), кәдімгі қамыс (*Phragmites australis*) және қоға түрлері (*Typha angustifolia*, *T. minima*, *T. laxmannii*) қауымдастықтарының тіршілік етуі үшін қажет. *Salix songarica* және *Calamagrostis dubia* қауымдастықтары үшін топырақтың тұздануы және жерасты суының деңгейі алғашқы үш метрінде минималды болуы керек – 0,1-0,3% дейін топырақта және 1 мен 0,8-1,2 г/л жерасты суында.

Шығыс парсы терегі (*Populus ariana*), ақ тораңғы (*Populus pruinosa*), жиде (*Elaeagnus turcomanica*), бұталар: жыңғыл мен шеңгел (*Tamarix ramosissima*, *Halimodendron halodendron*) және шөптесін өсімдіктер: кендір мен мия (*Trachmithum scabrum*, *Glyzyrrhiza glabra*) үшін жерасты суының деңгейі 2-2, 5 м болуы қажет. Жалпы Орта Азияның бүкіл аймағында қолайсыз жағдайды ескере отырып, барлық ағаш-бұталы тоғай қауымдастықтары үшін жерасты суының деңгейін 2,5-3,5 м дейін (өзен суының мол болуына, жыл мезгіліне және жер бедеріне байланысты) ұсынуға болады.

Бұл тоғай экожүйелерін сақтау үшін қажетті ең жоғары көрсеткіштер. Тоғай қауымдастықтарының осы тобының астындағы топырақтың тұздануы тек бірінші метрдегі тереңдікте өте жоғары болуы мүмкін – 0,8-1,5%, әрі қарай тереңдікте тұздану төмендеуі керек: екінші метрде 0,1-0,7% дейін және үшінші метрде – 0,05-0,6% дейін болуы қажет. 3 м астам тереңдікте топырақ тұзданған кезде, 0,9-1% артық болса, ағаш-бұта тоғайлары тіршілік ете алмайды және қурап кетеді. Алайда, олар жоғарғы қабаттарда (1 м дейін) 6-16% дейін тұзданса да өсе алады.

Негізінен тоғай ормандары ерекше фауна мен флораға бай мекен (1-сурет). Іле өзені бойындағы тоғай ормандарының дендрофлорасы алуан түрлі. Нақтырақ айтатын болсақ, мұнда әртүрлі көп жылдық ағаштар, бұталар, шөптесін өсімдіктер және бір жылдық сан алуан өсімдіктер өседі.



1-сурет – Іле өзені бойындағы тоғай ормандары

Тоғай ормандарындағы жерасты суының деңгейін зерттеулердің бірі ол арнайы алдын ала жасалынып құрылған бақылау ұңғымалары арқылы тексеріледі [13, 14]. Осы әдісті негізге ала отырып аталған зерттеу жұмыстарын жүргіздік.

Нәтижелер және талқылау

Негізгі ғылыми-зерттеу жұмыстары Алматы облысының табиғи ресурстар және табиғатты пайдалануды реттеу басқармасы мемлекеттік мекемесінің «Бақанас орман шаруашылығы» мекемесіне қарасты Іле өзенінің бойындағы тоғай ормандарының вегетациялық (көктем, жаз, күз) кезеңдегі су деңгейі зерттелді.

Жерасты суы гидросфераның атмосферамен, биосферамен және мезосферамен өзара әрекеттесуінің өте күрделі жүйесі. Бұл күрделі өзара әрекеттесу бір жағынан жерасты су деңгейінің барлық жерде және салыстырмалы тұрақтылығына, ал екінші жағынан жерасты суының деңгейінің жер бедерінің сәйкестігіне байланысты. Тұрақты тепе-тендік бұзылған жағдайда оны қалпына келтіруге бағытталған процестер пайда болады.

Жерасты суының динамикасы мен деңгейінің қалыптасуына әртүрлі химиялық және су-физикалық қасиеттерімен сипатталатын топырақ-жерасты су жағдайлары үлкен әсер етеді.

Ғылыми әдебиеттерде әртүрлі ағаштар мен бұталардың жоғары гидрологиялық рөлі туралы кең ақпарат бар.

Олардың барлығында орман екпелерінің жерасты суының көтерілуіне ықпал ететіндігі туралы мәліметтер келтірілген. Жерасты суының көтерілу мөлшері көптеген факторларға: жауын-шашын мөлшеріне, екпелердің түрі мен конструкциясына, олардың орналасуына, жасына, биіктігіне және тағы басқа көрсеткіштерге байланысты.

Зерттеу бағдарламасы бойынша біз Іле өзенінің жайылмасының екі бөлігіндегі жерасты суының деңгейіне: өзен аңғарына және орталық бөлігіне бақылау жүргіздік. Осы мақсатта барлап зерттеу жұмыстары жүргізіліп, осы террасаларға салынған ұңғымалар табылды. Үлгілерді алу кезеңі көктем, жаз және күз айларында жүргізілді. Ең алдымен өзенге жақын орналасқан жердегі бақылау ұңғымасының жерасты су деңгейі анықталды, ал екінші кезекте өзеннен алшақтау жерде орналасқан бақылау ұңғымасының жерасты су деңгейі анықталды (2-сурет).



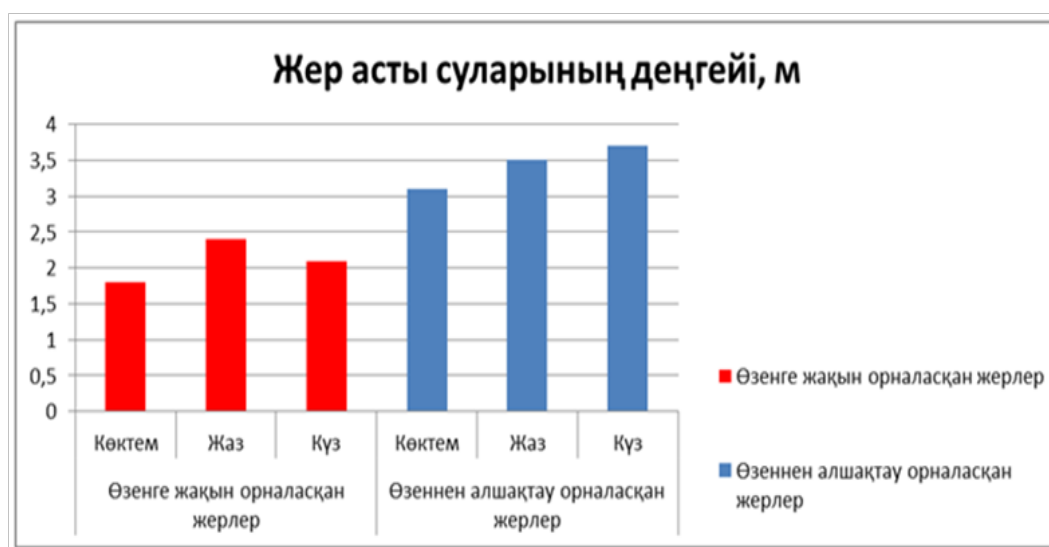
2-сурет – Іле өзені бойындағы тоғай ормандарының жерасты су деңгейлерін зерттеу сәті

1-кестеде және 3-суретте 2025 жылдың вегетациялық кезеңінде жерасты суы деңгейінің ауытқуы туралы мәліметтер келтірілген.

1-кесте – Іле өзендері жайылмасының әртүрлі бөліктеріндегі жерасты суының деңгейі м

Атауы	Терраса	Үлгілердің алу кезеңі	Жерасты суының деңгейі, м
Іле өзені	Өзенге жақын орналасқан жерлер	Көктем	1,8
		Жаз	2,4
		Күз	2,1
	Өзеннен алшақтау орналасқан жерлер	Көктем	3,1
		Жаз	3,5
			3,7

1-кестеден және 3-суреттен көрініп тұрғандай, өзеннің жайылмасында немесе өзен аңғары террасасында көктемде жерасты суының деңгейі 1,8 м құрайды және күзге қарай 0,3 м төмендейді және 2,1 м құрайды. Көктемде орталық жайылмада жерасты суының деңгейі 3,1 м құрайды, сонымен қатар күзге қарай 3,7 м дейін төмендейді.



3-сурет – Іле өзені бойындағы тоғай ормандарының жерасты суының деңгейі

Зерттеу барысында алынған мәліметтер Іле өзені жайылмасы аумағындағы жерасты суы деңгейінің маусымдық динамикасы ірі өзендердің аридтік және субаридтік аймақтарындағы жайылмалық аумақтарға тән гидрогеологиялық режим туралы жалпы қабылданған ғылыми түсініктермен толық сәйкес келетінін көрсетті. Өзен аңғары және орталық террасалар арасындағы жерасты суының тереңдігіндегі айырмашылықтар, ең алдымен, олардың морфологиялық орналасу ерекшеліктерімен және өзен арнасымен гидравликалық байланыс дәрежесімен анықталады.

Бақылау нәтижелері бойынша өзен аңғары террасасы жыл бойы жерасты суының салыстырмалы түрде жоғары деңгейімен сипатталады. Мұндай заңдылық өзен аңғарларының гидрогеологиясына арналған ғылыми еңбектерде бірнеше рет атап өтілген, мұнда өзен аңғары аумақтарындағы су режимінің қалыптасуында өзен арнасынан бүйірлік фильтрациялық ағын мен мерзімді су басудың жетекші рөлі көрсетіледі. Ал орталық террасада жерасты суының жату тереңдігі анағұрлым жоғары болып, бұл су алмасу қарқындылығының төмендеуін және инфильтрациялық коректенудің басым екенін айғақтайды.

Жерасты суы деңгейінің маусымдық жүрісі көктемгі кезеңде айқын көтерілумен сипатталады, бұл қардың еруі мен көктемгі тасқынның жайылмалардың гидрогеологиялық режиміне шешуші әсер ететінін көрсететін зерттеулер деректерімен сәйкес келеді. Осы кезеңде жер үсті және өзен суының инфильтрациясы есебінен сулы қабаттардың белсенді түрде толығыуы байқалады. Екі террасада да тіркелген жазғы кезеңдегі жерасты суы деңгейінің төмендеуі құрғақ аймақтар гидрогеологиясына арналған еңбектерде сипатталған заңдылықтарға сәйкес келеді, мұнда деңгейдің

төмендеуінің негізгі факторлары ретінде буланудың жоғарылауы, атмосфералық жауын-шашын мөлшерінің азаюы және өсімдік жамылғысының қарқынды су тұтынуы көрсетіледі.

Жерасты су деңгейінің күзгі динамикасындағы айырмашылықтар ерекше назар аудартады. Өзен аңғары террасасында су деңгейінің ішінара қалпына келуі дренаж процесінің баяулауымен және өзен арнасынан келетін қоректенудің сақталуымен байланысты болуы мүмкін. Ал орталық террасада жерасты суы деңгейінің одан әрі төмендеуі гидрогеологиялық процестердің неғұрлым инерциялық сипатын және жерасты су қорларының табиғи жолмен толықтырылу мүмкіндіктерінің шектеулілігін көрсетеді. Ұқсас қорытындылар Орталық Азия өзендерінің жайылмаларына арналған зерттеулерде де келтіріледі, онда жайылманың ішкі бөліктерінің климаттық ауытқуларға жоғары сезімталдығы атап өтіледі.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер Іле өзені жайылмасындағы жерасты су режимі маусымдық гидрологиялық факторлар мен жайылмалық ландшафттардың кеңістіктік дифференциациясының бірлескен әсері нәтижесінде қалыптасатынын растайды. Бұл жағдай климаттың өзгеруі мен антропогендік ықпалға байланысты гидрогеологиялық жағдайлардың өзгерісін болжау кезінде міндетті түрде ескерілуі тиіс.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері Іле өзенінің бойындағы тоғай ормандарының гидрогеологиялық және экологиялық жағдайларын жан-жақты бағалауға мүмкіндік берді. Алынған мәліметтерге сәйкес, тоғай экожүйелерінің деградациясының негізгі себептері – өзен ағынын антропогендік реттеу және климаттық өзгерістер болып табылады. Су тасқыны режимінің өзгеруі, өзен суының қолжетімділігінің төмендеуі, топырақтың тұздануының артуы және табиғи жаңару процесінің бұзылуы экожүйелердің құрылымдық және функционалдық тұрақтылығын айтарлықтай төмендетеді. Бұл өз кезегінде биоәртүрліліктің азаюына, сирек кездесетін және реликті өсімдіктер мен жануарлардың жоғалуына, сондай-ақ тоғай ормандарының қорғау, мелиорациялық және гидрологиялық қызметтерінің әлсіреуіне әкеледі.

Зерттеу барысында өзен аңғары және орталық террасалардағы жерасты суының деңгейі маусымдық динамикаға байланысты өзгертіндігі анықталды. Көктемде қардың еруі мен көктемгі тасқындардың әсерінен сулы қабаттар белсенді түрде толтырылады, ал жазда булану мен транспирацияның артуына, атмосфералық жауын-шашынның азаюына байланысты деңгей төмендейді. Қыркүйек-қазан айларында өзен аңғары террасасында жерасты суының ішінара қалпына келуі байқалса, орталық террасаларда төмендеу жалғасады, бұл гидрогеологиялық процестердің инерциялық сипатын және инфильтрациялық қоректенудің шектеулігін көрсетеді. Сонымен қатар, жерасты суының деңгейі мен топырақ тұздануы әртүрлі ағаш-бұта және шөпті қауымдастықтардың тіршілігі мен өсуіне тікелей әсер ететін негізгі фактор болып табылады.

Анықталған деректер бойынша Іле өзенінің бойындағы негізгі тоғай түрлері мен қауымдастықтары үшін ұсынылатын жерасты суының деңгейі мен топырақ тұздануының шектеулері нақты анықталды. Мысалы, *Salix songarica* және *Calamagrostis dubia* қауымдастықтары үшін жерасты суының деңгейі 0,8-1,2 м аралығында, топырақ тұздануы бірінші метрде 0,1-0,3% болуы қажет болса, ағаш-бұталы қауымдастықтар үшін бұл көрсеткіштер тереңдігі 2-3,5 м және тұздануы әр қабатта сәйкесінше төмендеуі керек. Бұл параметрлер деградацияға ұшыраған жерлерді қалпына келтіру және табиғи динамиканы қалпына келтіру жұмыстары үшін ғылыми негіз болып табылады.

Зерттеу практикалық мәні тоғай экожүйелерін сақтау мен қалпына келтіру, деградацияланған жерлерде экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету, өзендердің гидрологиялық режимін тиімді пайдалану және биоәртүрлілікті сақтау стратегияларын әзірлеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, алынған мәліметтер Орта Азияның аридтік және субаридтік аймақтарындағы өзен аңғарларының гидрогеологиялық режимін болжауға, климаттық өзгерістер мен антропогендік факторлардың экожүйелерге әсерін бағалауға, су ресурстарын тиімді басқаруға ғылыми негіз береді.

Қорытындылай келе, Іле өзенінің бойындағы тоғай ормандарының гидрогеологиялық жағдайларын зерттеу көрсеткендей, экожүйелердің тұрақтылығы жерасты суының деңгейіне, топырақтың тұздануына және маусымдық гидрологиялық факторларға тікелей байланысты.

Бұл зерттеу деректері тоғай экожүйелерін ғылыми негізде басқару және қалпына келтіру жұмыстарының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді, сондай-ақ Орталық Азияның реликті тоғайларын сақтау және олардың экологиялық қызметін қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылады.

Авторлардың қосқан үлесі

Бұл зерттеу жобасын ұйымдастыру, әдістемелік негізін құру және зерттеу бағдарламасын әзірлеу – ДД, ГЕ: жауапкершіліктерінде болды. Деректерді жинау, бақылау ұңғымаларын орналастыру және жерасты суларының деңгейін өлшеу жұмыстары – ЕК, РА, және ГЕ атқарды. Зерттеу нәтижелерін талдау, ғылыми қорытындылар жасау және мақала мәтінін дайындау – ИМ және АК бірігіп жүзеге асырды. Мақаладағы графикалық материалдар мен кестелерді құру – ГЕ жұмысына тиесілі. Барлық авторлар зерттеу нәтижелерін талқылауға қатысып, соңғы нұсқаны мақұлдады және жариялауға келісім берді.

Алғыс

Авторлар бұл зерттеуді жүргізуде қолдау көрсеткен Алматы облысының табиғи ресурстар және табиғатты пайдалануды реттеу басқармасы мемлекеттік мекемесінің «Бақанас орман шаруашылығы» қызметкерлеріне алғысын білдіреді. Сондай-ақ, зерттеу барысында ғылыми кеңестер беріп, әдістемелік қолдау көрсеткен әріптестерімізге ризашылық білдіреміз. Бұл жұмысқа үлес қосқан барлық қатысушыларға және зерттеу материалдарын жинау мен өңдеуге көмектескен топтарға шын жүректен алғыс айтамыз.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Агелеуов, Е.А. (1987). *Флора поймы реки Урал*. Алма-Ата: Наука, 85.
- 2 Dukenov, Zh., Utebekova, A., Kopabayeva, A., Shynybekov, M., Akhmetov, R., Rakymbekov, Zh., Bekturganov, A., Dosmanbetov, D. (2023). Influence of climatic changes on the dendrochronological features of tugai forests along the Syrdarya and Ili rivers in the territory of Kazakhstan. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 18(4), 975-982. DOI:10.18280/ijdne.180425.
- 3 Thomas, F.M, Lang, P. (2021). Growth and water relations of riparian poplar forests under pressure in Central Asia's Tarim River Basin. *River Research and Applications*, 37(2), 233-240. DOI:10.1002/rra.3605.
- 4 Zeng, Y., Zhao, C.Y., Kundzewicz, Z.W., Lv, G.H. (2020). Distribution pattern of Tugai forests species diversity and their relationship to environmental factors in an arid area of China. *Plos One*, 15(5), e0232907. DOI: 10.1371/journal.pone.0232907.
- 5 Wang, J.L., He, X.M., Ma, W., Li, ZK., Chen, Y.D., Lv, G.H. (2022). Spatial scale effects of soil respiration in arid desert Tugai forest: Responses to plant functional traits and soil abiotic factors. *Forests*, 13(7), 1001. DOI:10.3390/f13071001.
- 6 Schlüter, M., Rüger, N., Savitsky, A.G., Novikova, N.M., Matthies, M., Lieth, H. (2006). TUGAI: An integrated simulation tool for ecological assessment of alternative water management strategies in a degraded river delta. *Environmental Management*, 38, 638-653. DOI:10.1007/s00267-005-0108-3.
- 7 Gong, GLX. (2017). Species diversity and dominant species' niches of eremophyte communities of the Tugai forest in the Ebinur basin of Xinjiang, China. *Biodivers. Sci.*, 25, 29-35.
- 8 Zerbe, S., Halik, Ü., Kuchler, J. (2005). Urban greening in the oases of continental arid Southern Xinjiang (NW China) An interdisciplinary approach. *Erde*, 136, 245-266.
- 9 Дурдусов, С.Д., Зулаев, М.С., Кулик, К.Н., Петров, В.И., Хегай, В.Е. (2001). *Фитомелиоративная реконструкция и адаптивное освоение Черных земель*. под ред. академика В.И. Петрова. Волгоград: Элиста, 332.
- 10 Трешкин, С.Е., Бахиев, А.Б., Мамутов, Н., Бахиева, П. (2001). Современные проблемы сохранения флористического разнообразия Южного Приаралья. *Вестник ККО АН Руз*, 1-2, 15-17.

11 Бахиев, А.Б., Трешкин, С.Е. (1995). Динамика продуктивности тугайных сообществ в дельте Амударьи в условиях изменяющегося гидрологического режима территории. *Экология*, 2, 19-22.

12 Неструева, О.З. (1930). Краткий очерк растительности восточной части Чимбайского района Каракалпакской автономной области Каз.ССР. *Труды Почвенного института им. В.В.Докучаева*, Л.: 3-4, 64-68.

13 *Методические рекомендации по определению расчетного уровня грунтовых вод.* (1974). Минск: 7.

14 Исаева, С., Садыков, А., Хусеинов, Б., Нурыев, Р. (2025). *Методические рекомендации по восстановлению тогайных лесов на территории Туркменистана.* Ашхабат: 24.

References

- 1 Ageleuov, E.A. (1987). *Flora pojmy reki Ural*. Alma-Ata: Nauka, 85. [in Russ].
- 2 Dukenov, Zh., Utebekova, A., Kopabayeva, A., Shynybekov, M., Akhmetov, R., Rakymbekov, Zh., Bekturganov, A., Dosmanbetov, D. (2023). Influence of climatic changes on the dendrochronological features of tugai forests along the Syrdarya and Ili rivers in the territory of Kazakhstan. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 18(4), 975-982. DOI:10.18280/ijdne.180425.
- 3 Thomas, F.M., Lang, P. (2021). Growth and water relations of riparian poplar forests under pressure in Central Asia's Tarim River Basin. *River Research and Applications*, 37(2), 233-240. DOI:10.1002/rra.3605.
- 4 Zeng, Y., Zhao, C.Y., Kundzewicz, Z.W., Lv, G.H. (2020). Distribution pattern of Tugai forests species diversity and their relationship to environmental factors in an arid area of China. *Plos One*, 15(5), e0232907. DOI: 10.1371/journal.pone.0232907.
- 5 Wang, J.L., He, X.M., Ma, W., Li, Z.K., Chen, Y.D., Lv, G.H. (2022). Spatial scale effects of soil respiration in arid desert Tugai forest: Responses to plant functional traits and soil abiotic factors. *Forests*, 13(7), 1001. DOI:10.3390/f13071001.
- 6 Schlüter, M., Rüger, N., Savitsky, A.G., Novikova, N.M., Matthies, M., Lieth, H. (2006). TUGAI: An integrated simulation tool for ecological assessment of alternative water management strategies in a degraded river delta. *Environmental Management*, 38, 638-653. DOI:10.1007/s00267-005-0108-3.
- 7 Gong, GLX. (2017). Species diversity and dominant species' niches of eremophyte communities of the Tugai forest in the Ebinur basin of Xinjiang, China. *Biodivers. Sci.*, 25, 29-35.
- 8 Zerbe, S., Halik, Ü., Kuchler, J. (2005). Urban greening in the oases of continental arid Southern Xinjiang (NW China) An interdisciplinary approach. *Erde*, 136, 245-266.
- 9 Durdusov, S.D., Zulaev, M.S., Kulik, K.N., Petrov, V., Hegaj, V.E. (2001). *Fitomeliorativnaya rekonstrukciya i adaptivnoe osvoenie Chernyh zemel. Volgograd: Elista*, 332. [in Russ].
- 10 Treshkin, S.E., Bahiev, A.B., Mamýtov, N., Bahieva, P. (2001). Sovremennye problemy sohraneniya floristicheskogo raznoobraziya Yuzhnogo Priaralya. *Vestnik KKO AN Rýz*, 1-2, 15-17. [in Russ].
- 11 Bahiev, A.B., Anishkin, S.E. (1995). Dinamika produktivnosti togajnyh soobshchestv v delte Amudari v usloviyah izmenyayushchegosya gidrologicheskogo rezhima territorii. *Ekologiya*, 2, 19-22. [in Russ].
- 12 Nestrýeva, O.Z. (1930). Kratkii ocherk rastitelnosti vostochnoi chasti Chimbaiskogo raiona Karakalpakskoi avtonomnoi oblasti Kaz.SSR. *Trudy Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, L.: 3-4, 64-68. [in Russ].
- 13 *Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu raschetnogo urovnya gruntovyh vod.* (1974). Minsk: 7. [in Russ].
- 14 Isaeva, S., Sadyqov, A., Huseinov, B., Nuryev, R. (2025). *Metodicheskie rekomendacii po vosstanovleniyu-tugajnyh lesov na territorii Turkmenistana.* Ashhabat: 24. [in Russ].

Исследование уровня грунтовых вод тугайных лесов вдоль реки Или

Досманбетов Д.А., Еркинбекова Г.К., Каспакбаев Е.М., Ахметов Р.С.,
Майсупова И.К., Кобабаева А.А.

Аннотация

Предпосылки и цель. Исследовательская работа направлена на выявление изменения уровня подземных вод, их сезонной динамики и экосистемного влияния в лесных массивах по реке Или. Деградация лесных экосистем в Средней Азии происходит главным образом из-за антропогенного регулирования речного стока и изменения климата. Изменения режима паводков, увеличение засоления почвы и снижение естественного возобновления древесно-кустарниковых сообществ приводят к деградации лесных массивов.

Материалы и методы. В ходе исследования были размещены контрольные скважины вблизи поймы реки и на центральных террасах, и уровень подземных вод измерялся в весенний, летний и осенний периоды. Результаты показали, что на террасе поймы уровень подземных вод снижается с 1,8 м весной до 2,1 м осенью, тогда как на центральных террасах наблюдается снижение с 3,1 м весной до 3,7 м осенью. Эти различия зависят от морфологических особенностей рельефа и степени гидравлической связи с руслом реки.

Результаты. В исследовании рассматриваются сезонные колебания уровня грунтовых вод во взаимосвязи с физическими и химическими свойствами почвы, количеством осадков, потреблением воды растительностью путём испарения и транспирации. В весенний период снеготаяние и весенние паводки играют ключевую роль в восполнении водоносного слоя, тогда как летом снижение уровня обусловлено повышением испарения и дефицитом атмосферной влаги. Эти данные имеют практическое значение для восстановления лесных массивов и оценки эффективности посадок на деградированных территориях.

Заключение. Результаты исследования позволят разработать стратегии сохранения экологической устойчивости и восстановления деградированных участков с учётом гидрогеологических условий экосистем рощ вдоль реки Или, засоления почвы и уровня воды. Контроль и регулирование уровня подземных вод обеспечивает возможность восстановления естественной динамики экосистем, сохранения биоразнообразия и эффективного использования водных ресурсов.

Ключевые слова: гидрогеология; подземные воды; сезонная динамика; тугайный лес; солёность почв; река Или.

Groundwater level study in tugai forests along the river Ili

Daniyar A. Dosmanbetov, Gulim K. Yerkinbekova, Yerganat M. Kaspakbayev
Ruslan S. Akhmetov, Indira K. Maissupova, Arailym A. Kopabayeva

Abstract

Background and Aim. This study aims to identify changes in groundwater levels, their seasonal dynamics, and their effects on forest ecosystems along the Ili River. The degradation of forest ecosystems in Central Asia is largely caused by anthropogenic regulation of river flow and climate change. Changes in the flood regime, increasing soil salinity, and reduced natural regeneration of tree and shrub communities lead to forest degradation.

Materials and Methods. The results showed that on the floodplain terrace, groundwater levels decreased from 1.8 m in spring to 2.1 m in autumn, whereas on the central terraces, levels decreased from 3.1 m in spring to 3.7 m in autumn. These variations were influenced by topographic features and the degree of hydraulic connectivity with the river channel.

Results. The study demonstrated seasonal fluctuations in groundwater level in relation to the physical and chemical properties of the soil, precipitation, and water consumption by vegetation through evaporation and transpiration. In spring, snowmelt and seasonal floods played a key role in

replenishing the aquifer, whereas in summer, the decline in groundwater level was associated with increased evaporation and a shortage of atmospheric moisture. These data are of practical importance for forest restoration and for evaluating the effectiveness of plantings in degraded areas.

Conclusion. The findings make it possible to develop strategies for preserving environmental sustainability and restoring degraded areas, taking into account the hydrogeological conditions of tugai ecosystems along the Ili River, soil salinity, and groundwater level. Monitoring and regulating groundwater levels provide an opportunity to restore the natural dynamics of ecosystems, preserve biodiversity, and ensure the efficient use of water resources.

Keywords: hydrogeology; groundwater; seasonal dynamics; floodplain forest; soil salinity; Ili River.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - P.-180-186. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/ 10.51452/eaj.2026.1(129).2133

UDC 632.9:631.1(574)

Research article

Improving the phytosanitary control system of the Republic of Kazakhstan in the context of international obligations and digital transformation

Assel K. Kadyrbayeva , Azamat S. Zholamanov 

Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan
Astana, Kazakhstan

Corresponding author: Assel K. Kadyrbayeva: asel_k25@mail.ru

Co-authors: (1: AZh) azamat.zholmanov@gmail.com

Received: 28.01.2026 **Accepted:** 10.02.2026 **Published:** 30.03.2026

Abstract

Background and Aim. Phytosanitary control is a key element in ensuring the food, environmental, and economic security of the state. In the context of globalization and the intensification of international trade, the risk of the introduction and spread of quarantine pests is increasing.

The aim of this study is to analyse the current state of the phytosanitary control system of the Republic of Kazakhstan and to substantiate directions for its improvement, taking into account international obligations and digitalization.

Materials and Methods. The study employs methods of systems analysis, comparative legal analysis, and generalization of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan, international agreements and FAO/IPPC standards, as well as analytical materials of the Committee of State Inspection in the Agro-Industrial Complex of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan.

Results. It was established that the existing phytosanitary control system generally complies with international requirements; however, it is characterized by an insufficient level of digitalization and the absence of end-to-end traceability of regulated products. Risks associated with the uncontrolled movement of products and the spread of quarantine pests were identified.

Conclusion. The implementation of the proposed measures will enhance the effectiveness of phytosanitary control, reduce phytosanitary risks, and strengthen the export potential of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: native species; state inspector; quarantine measure; quarantine pest; phytosanitary control.

Introduction

Phytosanitary quarantine control represents a system of legal, organizational, and scientifically substantiated measures aimed at preventing the introduction, establishment, and spread of quarantine pests and plant pathogens capable of causing substantial damage to agricultural production, natural ecosystems, and international trade flows [1-4]. In the context of intensifying globalization, expanding international economic relations, and the steady growth of cross-border trade in agricultural commodities, the role of phytosanitary control has increased significantly. It is no longer limited to the sphere of agricultural regulation but has acquired strategic importance as an integral component of national food security, environmental protection, and economic stability [5, 6].

According to assessments by international organizations, global annual crop losses caused by quarantine pests and plant diseases may reach 30-40% of total production, which clearly demonstrates the high vulnerability of agricultural systems and the urgent need for effective preventive measures [7]. The uncontrolled spread of quarantine organisms leads not only to a reduction in crop yields but

also to deterioration of the quality of agricultural products, disruption of production chains, and an increase in financial expenditures related to pest management, eradication measures, and compensation for economic losses. In addition, phytosanitary incidents may result in trade restrictions, export bans, and a decline in the competitiveness of national agricultural products on international markets.

Under such conditions, systematic monitoring of phytosanitary risks, early detection of quarantine pests, and the timely implementation of response measures become critically important. Effective phytosanitary control requires a combination of regulatory enforcement, scientific support, modern diagnostic methods, and efficient information exchange between relevant authorities and stakeholders. Special attention should be paid to improving risk assessment procedures and forecasting models that make it possible to predict the potential spread of harmful organisms under changing climatic and economic conditions.

In the Republic of Kazakhstan, phytosanitary quarantine control is implemented in accordance with international obligations and standards, including the Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures of the World Trade Organization, the International Plant Protection Convention, as well as the regulatory framework of the Eurasian Economic Union [8-12]. The national phytosanitary system is designed to ensure the protection of agricultural lands and natural ecosystems while facilitating safe international trade in plant products. However, despite the existence of a comprehensive regulatory and legal framework, the current phytosanitary control system faces a number of challenges.

Among the most significant issues are the insufficient level of digitalization of control procedures, limited integration of information systems, and the lack of full traceability of regulated products throughout the supply chain. These factors reduce the efficiency of control measures, complicate data analysis, and hinder timely decision-making. The introduction of digital technologies, including electronic certification, geospatial monitoring, and centralized databases, is therefore considered a key direction for modernizing the phytosanitary control system.

The purpose of this study is to analyse the current state of the phytosanitary quarantine control system of the Republic of Kazakhstan and to substantiate scientifically grounded directions for its improvement. The novelty of the research lies in a comprehensive assessment of phytosanitary control as an essential element of national security, with particular emphasis on the role of digital transformation in enhancing transparency, efficiency, and sustainability of phytosanitary measures.

Materials and Methods

The study is based on a comprehensive analysis of the regulatory and legal framework of the Republic of Kazakhstan governing plant quarantine and phytosanitary control. This includes national legislative and subordinate regulatory acts governing quarantine measures, inspection procedures, and the circulation of regulated products. In addition, the research draws upon international phytosanitary standards and guidelines developed under the auspices of the Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Plant Protection Convention, including International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) No. 6 (Surveillance), ISPM No. 11 (Pest Risk Analysis for Quarantine Pests), and ISPM No. 12 (Phytosanitary Certificates), as well as relevant documents and agreements of the World Trade Organization and the Eurasian Economic Union [8-16].

The methodological framework of the study is based on an interdisciplinary approach combining elements of legal, institutional, and systems analysis. Methods of systems analysis were applied to assess the structure and functioning of the phytosanitary quarantine control system as an integrated element of national agricultural and biosecurity policy. Comparative legal analysis was used to identify similarities and differences between national phytosanitary regulations and international requirements, as well as to evaluate the degree of harmonization of Kazakhstan's legislation with global and regional standards. Logical generalization and synthesis were employed to formulate conclusions and substantiate proposals aimed at improving the effectiveness of phytosanitary control mechanisms.

The empirical basis of the research includes official statistical data and analytical materials provided by the Committee of State Inspection in the Agro-Industrial Complex of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. These materials reflect the results of control and supervisory activities, including inspections, detection of quarantine organisms, enforcement measures, and trends in phytosanitary compliance over a number of years. The use of official data ensured the reliability and representativeness of the analytical conclusions.

Phytopsanitary risk analysis within the study was conducted in accordance with the methodological requirements of ISPM No. 11 and followed internationally recognized procedures applied in global phytopsanitary practice [14]. The applied risk assessment methods are transparent, reproducible, and based on the evaluation of the probability of pest introduction and spread, as well as the potential economic and environmental consequences. This methodological approach allows for objective assessment of phytopsanitary risks and supports evidence-based decision-making in the field of plant quarantine and phytopsanitary security.

Results and Discussion

The results of the analysis demonstrate that the phytopsanitary control system of the Republic of Kazakhstan generally complies with internationally accepted requirements and principles established under global and regional phytopsanitary frameworks. The system covers the main stages of movement of regulated products, including importation, transit, and domestic circulation, which makes it possible to implement preventive and control measures at different levels of the supply chain. Special attention is given to border control, as it plays a key role in preventing the introduction of quarantine pests into the national territory.

Along the perimeter of the state border, a total of 77 phytopsanitary control posts are currently in operation. These posts are strategically located on the borders with the Russian Federation, the Kyrgyz Republic, the People's Republic of China, the Republic of Uzbekistan, and Turkmenistan, which ensures comprehensive coverage of major trade routes and contributes to minimizing phytopsanitary risks associated with cross-border movement of plant products.

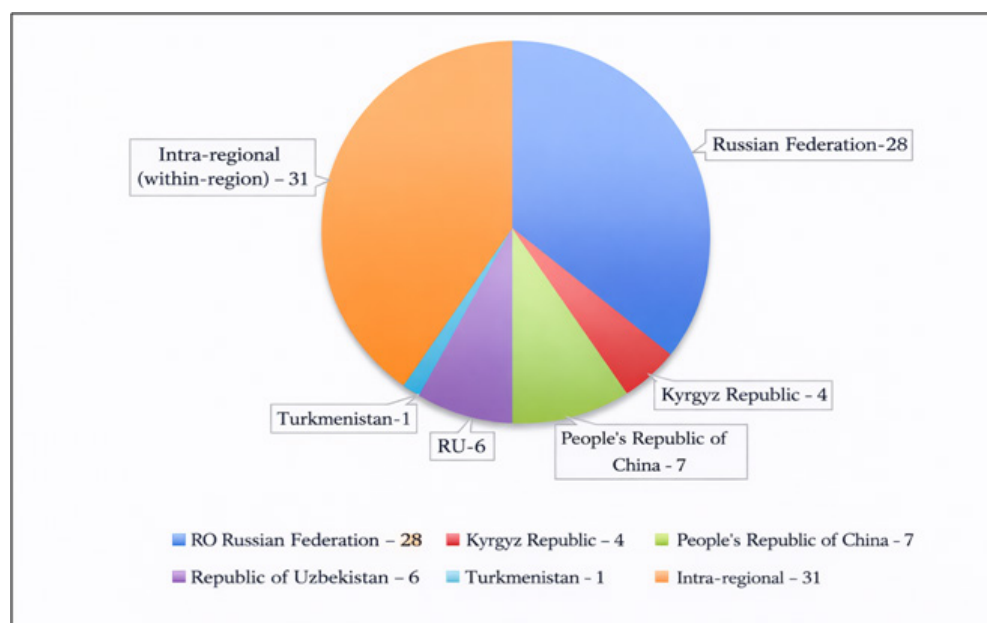


Figure 1 – Distribution of Phytopsanitary Control Posts by Direction

Figure 1 illustrates the spatial distribution of phytopsanitary control posts along the main segments of the state border of the Republic of Kazakhstan. The analysis of their placement indicates a differentiated approach to the organization of border control, taking into account the intensity and structure of cross-border trade flows. The highest concentration of phytopsanitary control posts is observed in border areas characterized by the largest volumes of movement of regulated plant products. This distribution is due to elevated phytopsanitary risks associated with intensive import and transit operations, as well as with the diversity of plant commodities entering the country through these routes. Such an approach allows phytopsanitary authorities to focus resources on the most vulnerable border areas and to strengthen preventive protection against the introduction of quarantine pests.

An assessment of current control practices revealed differences in the scope and depth of phytopsanitary measures depending on the customs procedure applied to regulated products. During the transit of plant

products through the territory of the Republic of Kazakhstan, phytosanitary control is generally limited to documentary verification and external inspection of vehicles and cargo units. This includes checking the availability and validity of accompanying documents, as well as a visual assessment of transport conditions. While this approach facilitates the rapid movement of goods and reduces administrative barriers, it may also limit the effectiveness of early detection of quarantine organisms under certain conditions.

In contrast, phytosanitary control applied to imported regulated products is more comprehensive. It includes direct inspection of plant products, sampling, and subsequent laboratory identification of quarantine pests and pathogens. Laboratory diagnostics play a crucial role in ensuring the reliability of phytosanitary decisions, as they allow for the detection of harmful organisms that cannot be identified through visual inspection alone. This differentiation of control procedures reflects a risk-based approach that prioritizes imports as the most significant pathway for the introduction of quarantine pests.

According to official data from the Committee of State Inspection in the Agro-Industrial Complex of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, since the beginning of 2025, a total of 2,176 violations of phytosanitary requirements have been identified. Figure 2 presents the structure and quantitative distribution of these violations. The most common non-compliances include the absence of phytosanitary certificates, inconsistencies or inaccuracies in accompanying documentation, and the detection of quarantine pests. The revealed structure of violations indicates systemic weaknesses in compliance with phytosanitary regulations and highlights the need for further improvement of control mechanisms, particularly in terms of documentation verification, traceability, and preventive risk management.

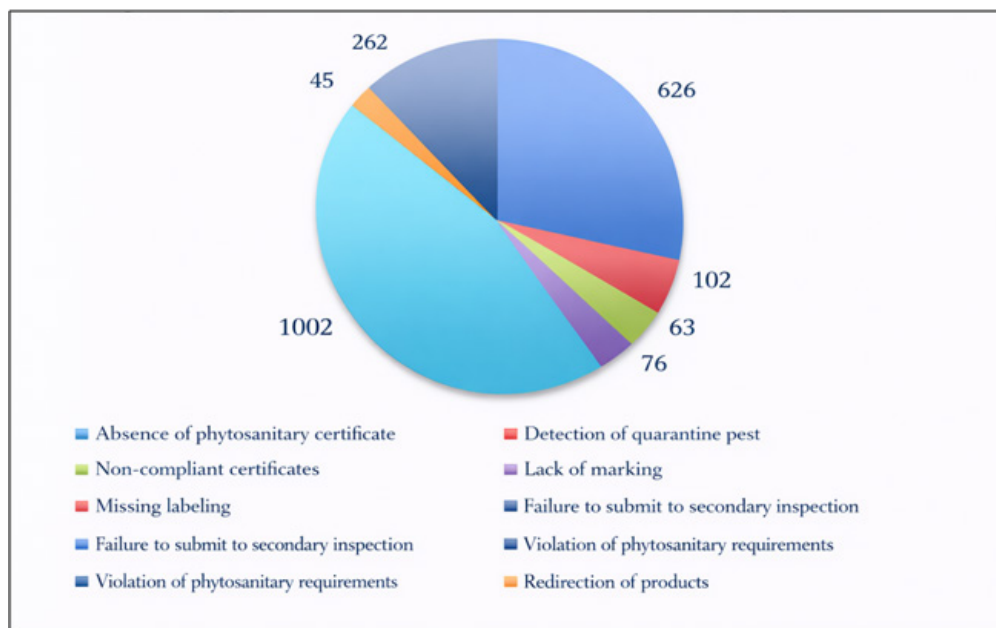


Figure 2 – Types and Number of Identified Violations of Phytosanitary Requirements

A comparison of the obtained results with data from foreign studies demonstrates that the growth of phytosanitary risks represents a global and sustained trend under conditions of intensified trade globalization and steadily increasing volumes of international movement of plant products [5, 7]. The liberalization of trade regimes, expansion of international transport corridors, and acceleration of logistics processes have significantly increased the permeability of national borders for biological threats. As a result, quarantine pests and plant pathogens are able to spread more rapidly across regions and continents, posing serious challenges to national phytosanitary systems.

The expansion of trade routes and the diversification of supply chains substantially increase the likelihood of the introduction and further dissemination of quarantine pests, including through indirect pathways that are difficult to control using traditional inspection methods. Under these conditions,

conventional phytosanitary control measures, based primarily on documentary checks and selective inspections, often prove insufficient without the support of modern information and digital technologies. The growing complexity of trade flows requires a transition to risk-oriented and data-driven approaches that make it possible to identify potentially dangerous consignments and routes in a timely manner.

One of the key systemic problems identified in the course of the study is the absence of a unified digital information system capable of ensuring end-to-end traceability of regulated products throughout all stages of their movement, from import and transit to internal circulation and final distribution within the country. The fragmentation of information resources and the limited integration between control authorities significantly reduce the transparency of phytosanitary control processes. This situation complicates comprehensive risk assessment, hinders timely managerial decision-making, and increases the probability of the uncontrolled spread of quarantine pests within the national territory. Consequently, the lack of digital traceability mechanisms represents a critical constraint on the effectiveness and sustainability of the national phytosanitary control system.

Conclusion

Phytosanitary control constitutes a critical component of ensuring the food, environmental, and economic security of the Republic of Kazakhstan, as it is directly related to the protection of agricultural production, natural ecosystems, and the stability of domestic and foreign trade. Although the existing phytosanitary control system generally complies with international standards and obligations, the results of the analysis indicate the need for its further improvement and modernization. The primary areas requiring enhancement include the level of digitalization of control procedures and the establishment of effective mechanisms for ensuring the traceability of regulated products throughout the entire supply chain.

The prospects for further research are associated with the development, implementation, and evaluation of the effectiveness of digital tools designed for internal plant quarantine. Particular attention should be paid to their integration into the unified state control system, as well as to assessing their impact on improving transparency, risk management, and the overall efficiency of phytosanitary measures.

Authors' Contributions

AK: development of the research concept, analysis of the regulatory and legal framework, data processing, and manuscript preparation. AZh: preparation of the literature review, synthesis of research results, data analysis, and joint preparation of the article text.

All authors have read, reviewed, and approved the final version of the article.

Acknowledgements

The author expresses gratitude to the specialists of the Committee of State Inspection in the Agro-Industrial Complex of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan for their consultative support.

References

- 1 Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43.
- 2 Strange, R.N., Scott, P.R. (2005). Plant disease: A threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 83-116.
- 3 FAO. (2022). *Plant Health and Food Security*. Rome.
- 4 Pimentel, D., et al. (2001). Economic and environmental threats of alien species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84(1), 1-20.
- 5 World Trade Organization. (1995). *Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures*. Geneva.
- 6 Ackleson, J., Kastner, J. (2011). Borders and governance: An analysis of health regulation and the agri-food trade. *Geopolitics*, 16(1), 7-26.

- 7 FAO. (2018). ISPM No. 6: *Surveillance*. Rome.
- 8 FAO. (2019). ISPM No. 11: *Pest Risk Analysis for Quarantine Pests*. Rome.
- 9 FAO. (2020). ISPM No. 12: *Phytosanitary Certificates*. Rome.
- 10 Republic of Kazakhstan. (1999). *Law on Plant Quarantine No. 344-I*.
- 11 Eurasian Economic Commission. (2010). *Decision of the Council of the EEC No. 318*.
- 12 Eurasian Economic Commission. (2016). *Decision of the Council of the EEC No. 157*.
- 13 Lebedeva, M.M. (2014). *International and regional standards in plant quarantine*. Moscow.
- 14 van Ginkel, M., Biradar, C. (2021). Drought early warning in agri-food systems. *Climate*, 9(9), 134.
- 15 FAO. (2022). *ePhyto Solution: Implementation Guide*. Rome.
- 16 Hedley, P., et al. (2020). Digital transformation in phytosanitary systems. *Food Control*, 112, 107118.

References

- 1 Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43.
- 2 Strange, R.N., Scott, P.R. (2005). Plant disease: A threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 83-116.
- 3 FAO. (2022). *Plant Health and Food Security*. Rome.
- 4 Pimentel, D., et al. (2001). Economic and environmental threats of alien species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84(1), 1-20.
- 5 World Trade Organization. (1995). *Agreement on the Application of Sanitary and Phytosanitary Measures*. Geneva.
- 6 Ackleson, J., Kastner, J. (2011). Borders and governance: An analysis of health regulation and the agri-food trade. *Geopolitics*, 16(1), 7-26.
- 7 FAO. (2018). ISPM No. 6: *Surveillance*. Rome.
- 8 FAO. (2019). ISPM No. 11: *Pest Risk Analysis for Quarantine Pests*. Rome.
- 9 FAO. (2020). ISPM No. 12: *Phytosanitary Certificates*. Rome.
- 10 Republic of Kazakhstan. (1999). *Law on Plant Quarantine No. 344-I*.
- 11 Eurasian Economic Commission. (2010). *Decision of the Council of the EEC No. 318*.
- 12 Eurasian Economic Commission. (2016). *Decision of the Council of the EEC No. 157*.
- 13 Lebedeva, M.M. (2014). *International and regional standards in plant quarantine*. Moscow.
- 14 van Ginkel, M., Biradar, C. (2021). Drought early warning in agri-food systems. *Climate*, 9(9), 134.
- 15 FAO. (2022). *ePhyto Solution: Implementation Guide*. Rome.
- 16 Hedley, P., et al. (2020). Digital transformation in phytosanitary systems. *Food Control*, 112, 107118.

Қазақстан Республикасының фитосанитариялық бақылау жүйесін халықаралық міндеттемелер мен цифрлық трансформация жағдайында жетілдіру

Қадырбаева Ә.Қ., Жолманов А.С.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Фитосанитариялық бақылау мемлекеттің азық-түлік, экологиялық және экономикалық қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі элементтерінің бірі болып табылады. Жаһандану және халықаралық сауданың қарқынды дамуы жағдайында карантиндік объектілердің ел аумағына енуі мен таралу қаупі арта түсуде.

Зерттеудің мақсаты – Қазақстан Республикасындағы фитосанитариялық бақылау жүйесінің қазіргі жағдайын талдау және халықаралық міндеттемелер мен цифрландыруды ескере отырып, оны жетілдіру бағыттарын негіздеу.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында жүйелік талдау, салыстырмалы-құқықтық талдау әдістері қолданылды, сондай-ақ Қазақстан Республикасының нормативтік құқықтық актілері, халықаралық келісімдер мен FAO/IPPC стандарттары, Қазақстан Республикасы Ауыл

шаруашылығы министрлігінің Агроөнеркәсіптік кешендегі мемлекеттік инспекция комитетінің аналитикалық материалдары жинақталып, қорытыла қарастырылды.

Нәтижелер. Қолданыстағы фитосанитариялық бақылау жүйесінің жалпы алғанда халықаралық талаптарға сәйкес келетіні анықталды, алайда оның цифрландыру деңгейінің жеткіліксіздігі және карантинге жатқызылатын өнімнің сквоздық (үздіксіз) қадағалану жүйесінің болмауы байқалады. Өнімнің бақылаусыз орын ауыстыруы мен карантиндік объектілердің таралу қаупі бар екені айқындалды.

Қорытынды. Ұсынылған шараларды іске асыру фитосанитариялық бақылаудың тиімділігін арттыруға, фитосанитариялық тәуекелдерді төмендетуге және Қазақстан Республикасының экспорттық әлеуетін нығайтуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: аборигендік түр; мемлекеттік инспектор; карантиндік шара; карантиндік объект; фитосанитариялық бақылау.

Совершенствование системы фитосанитарного контроля Республики Казахстан в условиях международных обязательств и цифровой трансформации

Қадырбаева Ә.Қ., Жолманов А.С.

Аннотация

Предпосылки и цель. Фитосанитарный контроль является ключевым элементом обеспечения продовольственной, экологической и экономической безопасности государства. В условиях глобализации и интенсификации международной торговли возрастает риск заноса и распространения карантинных объектов. Целью исследования является анализ современного состояния системы фитосанитарного контроля Республики Казахстан и обоснование направлений её совершенствования с учётом международных обязательств и цифровизации.

Материалы и методы. В работе использованы методы системного анализа, сравнительно-правового анализа, обобщения нормативных правовых актов Республики Казахстан, международных соглашений и стандартов FAO/IPPC, а также аналитические материалы Комитета государственной инспекции в агропромышленном комплексе МСХ РК.

Результаты. Установлено, что действующая система фитосанитарного контроля в целом соответствует международным требованиям, однако характеризуется недостаточной цифровизацией и отсутствием сквозной прослеживаемости подкарантинной продукции. Выявлены риски неконтролируемого перемещения продукции и распространения карантинных объектов.

Закключение. Реализация предложенных мер позволит повысить эффективность фитосанитарного контроля, снизить фитосанитарные риски и укрепить экспортный потенциал Республики Казахстан.

Ключевые слова: Аборигенный вид; государственный инспектор; карантинная мера; карантинный объект; фитосанитарный контроль.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. - № 1 (129). - Р.-187-197.- ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2132

UDC 631.4: 579.64

Research article

Trait-based responses of Gram-positive and Gram-negative soil bacteria to grazing intensity in steppe ecosystems

Meruyert B. Tastybay^{1,2,3} , Deli Wang² , Ashimkhan T. Kanaev¹ 
Kanysh I. Kushenov³ , Ainur I. Seitbatalova³ 

¹al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Northeast Normal University, Changchun, People's Republic of China

³LLP «Kazakh Research Institute of Animal Husbandry and Forage Production»
Almaty, Kazakhstan

Corresponding author: Meruyert B. Tastybay: meruert.tastybai@mail.ru

Co-authors: (2: DW) wangd@nenu.edu.cn; (3: AK) ashim1959@mail.ru

(4: KK) kushenov.kanysh@mail.ru; (5:AS) aika2006_81@mail.ru

Received: 29 January 2026 **Accepted:** 04 March 2026 **Published:** 30 March 2026

Abstract

Background and Aim. Steppe pastures of Central Asia are exposed to long-term grazing pressure that can modify soil properties and belowground microbial communities. Soil bacteria regulate nutrient cycling and ecosystem resilience, yet their responses to grazing intensity in steppe ecosystems remain poorly understood. This study evaluated the effects of grazing intensity on soil bacterial diversity, community composition, and functional structure, with particular emphasis on taxonomic richness and on Gram-positive and Gram-negative bacteria.

Materials and Methods. Soil samples were collected from steppe pastures subjected to light, moderate, and heavy grazing. Bacterial community composition was analyzed using high-throughput sequencing of the 16S rRNA gene. Alpha diversity indices (Chao1, observed species richness, Shannon, Simpson, Pielou's evenness, and Faith's phylogenetic diversity) were calculated. Beta diversity was assessed using Bray-Curtis dissimilarity, principal coordinates analysis (PCoA), and permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA). Homogeneity of multivariate dispersion was evaluated using the betadisper. Bacterial taxa were additionally classified into Gram-positive and Gram-negative groups to assess functional responses to grazing.

Results. Taxonomic richness indices differed significantly among grazing groups, indicating sensitivity of bacterial richness to grazing intensity. In contrast, Shannon diversity, evenness indices, and phylogenetic diversity did not differ significantly, suggesting structural stability of bacterial communities. Beta diversity analysis revealed significant compositional differences among grazing groups, while dispersion did not differ significantly, confirming that the observed differences reflect true shifts in community composition. Functional analysis demonstrated contrasting responses of Gram-positive and Gram-negative bacteria along the grazing gradient.

Conclusion. Grazing intensity in steppe ecosystems primarily affects soil bacterial richness and community composition, whereas diversity evenness and phylogenetic structure remain comparatively stable. Grazing acts as an environmental filter shaping microbial functional structure without causing a pronounced loss of bacterial diversity. These findings highlight the resilience of steppe soil bacterial communities and support the use of microbial indicators in sustainable pasture management.

Keywords: alpha-beta diversity; Gram-negative bacteria; grazing intensity; soil bacteria; steppe pastures.

Introduction

Grazing is one of the most widespread land-use practices in steppe ecosystems and represents a major driver of soil change in arid and semi-arid regions. Long-term grazing alters vegetation cover, soil structure, and nutrient availability through biomass removal and trampling, which can subsequently affect soil moisture retention and erosion processes [1, 2].

Soil bacteria play a central role in ecosystem functioning by regulating carbon and nitrogen cycling, organic matter decomposition, and nutrient availability for plants. Due to their rapid turnover rates and sensitivity to environmental change, bacterial communities respond quickly to grazing disturbances and are increasingly recognized as informative indicators of soil condition in rangeland ecosystems [3, 4].

Among soil bacteria, Gram-positive and Gram-negative groups differ fundamentally in cell wall structure, physiological traits, and ecological strategies. Gram-positive bacteria, characterized by thick peptidoglycan layers, are generally more resistant to desiccation, temperature fluctuations, and physical disturbance, whereas Gram-negative bacteria are often associated with higher nutrient availability and less stressful soil conditions [5, 6]. Consequently, shifts in the relative abundance of these groups may reflect grazing-induced environmental stress.

Previous studies demonstrate that grazing intensity can modify soil bacterial diversity and community composition; however, reported responses vary widely among ecosystems. While heavy grazing has been associated with reduced microbial diversity in some grasslands, other studies report stable or even increased bacterial richness in arid and steppe systems dominated by stress-tolerant taxa [7, 8]. These contrasting results highlight the importance of environmental context and suggest that functional or trait-based approaches may provide additional insight beyond overall diversity metrics.

Steppe ecosystems of Central Asia represent one of the largest continuous pastoral regions worldwide and have experienced centuries of grazing under harsh continental climatic conditions. Despite their ecological and socio-economic importance, these systems remain underrepresented in soil microbiome research, particularly with respect to microbial functional traits related to grazing pressure.

Therefore, the objective of this study was to assess the response of Gram-positive and Gram-negative soil bacterial communities to grazing intensity in steppe pastures. Specifically, we aimed to (i) compare the relative abundance of Gram-positive and Gram-negative bacteria across grazing gradients and (ii) evaluate their potential as microbial indicators of grazing-induced soil stress. Although soil samples were collected across three natural zones, the present study focuses on the steppe ecosystem as a representative system for evaluating microbial responses to grazing intensity, in order to minimize environmental variability and isolate the effects of grazing pressure.

Materials and Methods

Soil samples were collected from pasture ecosystems located in three contrasting natural zones of southeastern Kazakhstan: desert (Bozoy area), steppe (Turgen area), and mountain pastures (Tau-Turgen area). These zones represent a pronounced environmental gradient in terms of climate, vegetation structure, altitude, and grazing regimes typical for Central Asian rangelands [1, 9]. Within each natural zone, pastures were classified according to grazing intensity as lightly grazed, moderately grazed, or heavily grazed, based on distance from settlements, livestock density, and visible signs of grazing pressure [1]. For each combination of natural zone and grazing intensity, five independent soil samples were collected, resulting in a total of 45 samples (3 natural zones \times 3 grazing intensities \times 5 replicates). For the steppe zone, grazing intensity groups were coded as LGSN (light grazing, steppe zone), MGSN (moderate grazing, steppe zone), and HGSN (heavy grazing, steppe zone), where group designation reflects increasing grazing pressure based on livestock density, distance from settlements, and visible grazing impact and are used consistently in figures and tables. In this study, detailed microbial community analysis was performed for the steppe zone only, while results for the desert and mountain zones will be reported separately.

Soil samples were collected from the topsoil layer (0-15 cm) following the removal of surface litter and plant residues. Each sample was placed in sterile containers, transported on ice, and stored at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ prior to molecular analysis to preserve microbial DNA integrity [10]. Total genomic DNA was extracted from soil samples using standardized protocols for environmental samples. Bacterial community composition was assessed using high-throughput sequencing of the 16S rRNA gene [3].

Library preparation, sequencing, and primary bioinformatic processing were performed by an external commercial sequencing service (GenesCloud, China), following established quality control procedures. Sequencing targeted a commonly used bacterial 16S rRNA gene region suitable for microbial community profiling [10].

Raw sequencing reads were quality-filtered, denoised, and clustered into operational taxonomic units (OTUs) based on sequence similarity thresholds. Operational taxonomic units (OTUs) were generated at a 97% sequence similarity threshold, which remains a widely applied approach for comparative microbial community analyses across environmental gradients. Although amplicon sequence variants (ASVs) have been increasingly used in recent studies, OTU-based clustering is considered appropriate for identifying community-level patterns and relative differences among treatment groups in ecological disturbance studies. Taxonomic assignment was performed using curated reference databases for bacterial 16S rRNA gene sequences, resulting in OTU tables and taxonomic abundance matrices for downstream analyses [3]. Gram-positive and Gram-negative classification was assigned at the phylum level based on dominant cell wall characteristics reported in the literature [4, 3]. Functional heterogeneity may exist within individual phyla; therefore, this classification represents a broad ecological approximation rather than a strict taxonomic assignment. Although OTU-based clustering was applied in this study, it remains suitable, for comparative analyses of microbial community patterns across grazing gradients [11].

Alpha diversity of soil bacterial communities was assessed using several complementary indices reflecting taxonomic richness, diversity, evenness, and phylogenetic structure. These included the Chao1 estimator, observed species richness, Shannon diversity index, Simpson diversity index, Pielou's evenness, Faith's phylogenetic diversity (PD), and Good's coverage [12, 3]. Differences in alpha diversity indices among grazing-environmental groups were tested using one-way analysis of variance (ANOVA) or the Kruskal-Wallis test, depending on data normality as assessed by the Shapiro-Wilk test. Statistical significance was evaluated at $p < 0.05$

Beta diversity was evaluated based on Bray-Curtis dissimilarity matrices calculated from OTU abundance data [13]. Patterns of bacterial community dissimilarity among samples were visualized using principal coordinates analysis (PCoA). Differences in bacterial community composition among grazing-environmental groups were tested using permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA) with 999 permutations [14]. To assess whether PERMANOVA results were influenced by unequal within-group variability, homogeneity of multivariate dispersion was evaluated using the betadisper approach [15]. Distances of individual samples to group centroids in multivariate space were calculated, and differences among groups were tested using both analysis of variance (ANOVA) and permutation tests with 999 permutations. Boxplots of distances to centroids were used to visualize beta dispersion patterns across grazing and environmental groups.

All statistical analyses and data visualization were performed using R software (version 4.5.2). Alpha diversity analyses and statistical testing were conducted using base R and supplementary packages. Multivariate analyses, including Bray-Curtis dissimilarity calculation, PCoA ordination, PERMANOVA, and betadisper analyses, were performed using the vegan package [16]. Statistical significance was assessed at $p < 0.05$ unless stated otherwise.

Results and Discussion

Alpha diversity of soil bacterial communities in the steppe pasture ecosystem varied among grazing intensities (Table 1). Indices describing taxonomic richness showed significant differences among grazing groups, whereas indices reflecting community diversity, evenness, and phylogenetic structure remained comparatively stable. The Chao1 richness estimator differed significantly among grazing intensities (one-way ANOVA, $p < 0.001$), with the highest values observed under heavy grazing (HGSN: 6989.29 ± 694.25) and lower values under light grazing (LGSN: 6120.23 ± 385.44). A similar pattern was observed for observed species richness, which also varied significantly across grazing groups (Kruskal-Wallis test, $p < 0.001$), ranging from 5866.40 ± 343.80 under light grazing to 6534.20 ± 569.68 under heavy grazing.

Table 1 – Alpha diversity indices (mean ± SD) of soil bacterial communities across grazing intensities in the steppe pasture ecosystem

Index	Test	p-value	Shapiro_min_p	HGSN	LGSN	MGSN
Chao1	ANOVA	0.0001	0.0761	6989.29 ± 694.25	6120.23± 385.44	6565.74 ± 123.14
Good'scoverage	ANOVA	0.0045	0.0768	0.97± 0.01	0.98± 0.00	0.98± 0.00
Simpson	Kruskal-Wallis	0.0555	0.00097	1.00± 0.00	1.00± 0.00	1.00± 0.00
Pielou_e	Kruskal-Wallis	0.0798	0.018	0.90± 0.01	0.91± 0.01	0.91± 0.01
Shannon	ANOVA	0.4070	0.0543	11.36± 0.16	11.55± 0.37	11.65± 0.24
Observed_species	Kruskal-Wallis	0.0005	0.0231	6534.20± 569.68	5866.40± 343.80	6272.60± 93.06
Faith_pd	ANOVA	0.7430	0.0593	457.42± 40.45	459.98± 32.51	460.52± 6.34

The increase in bacterial richness under heavy grazing suggests that, in steppe ecosystems, grazing disturbance does not necessarily lead to taxon loss but may promote the coexistence of multiple stress-tolerant bacterial taxa. Comparable disturbance-mediated richness patterns have been reported in arid and semi-arid grassland soils, where environmental stress favors microbial taxa adapted to low resource availability and physical disturbance [1, 17]. In contrast, diversity and evenness-related indices did not differ significantly among grazing intensities. Shannon diversity ranged from 11.36 ± 0.16 to 11.65 ± 0.24 ($p > 0.05$), while Simpson diversity and Pielou's evenness exhibited consistently high and comparable values across all grazing groups (Simpson ≈ 1.00 ; Pielou's evenness = 0.90-0.91). Faith's phylogenetic diversity also remained stable across grazing intensities ($p > 0.05$), indicating that grazing pressure did not substantially affect the evolutionary breadth of bacterial communities (Table 1). Together, these results indicate a decoupling between taxonomic richness and community evenness under grazing disturbance. While grazing intensity altered the number of detectable taxa, relative abundance distributions and phylogenetic structure remained conserved, a pattern characteristic of soil microbial communities exhibiting high functional redundancy and resilience to disturbance [18].

Beta diversity analysis based on Bray-Curtis dissimilarity revealed significant differences in bacterial community composition among grazing intensities in steppe pastures. PERMANOVA results indicated that grazing pressure significantly structured bacterial assemblages ($F = 1.69$, $R^2 = 0.22$, $p = 0.006$; Table 2).

Table 2 – Results of permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA)

Source	Df	Sum of squares	R ²	F	p-value
Group	2	0.92	0.22	1.69	0.006
Residual	12	3.26	0.78		
Total	14	4.18	1.00		

The moderate R^2 value suggests that grazing intensity explains a meaningful but not dominant proportion of total community variation, indicating that grazing acts alongside strong background controls such as climate and soil type. Similar moderate effect sizes have been reported for grazing impacts on soil bacterial communities in environmentally constrained grassland ecosystems [3, 19]. Importantly, tests of homogeneity of multivariate dispersion (betadisper) revealed no significant differences in within-group variability among grazing intensities (ANOVA $p = 0.41$; permutation test $p = 0.39$; Figure 1). This confirms that the observed PERMANOVA results reflect true compositional differences rather than dispersion effects [15].

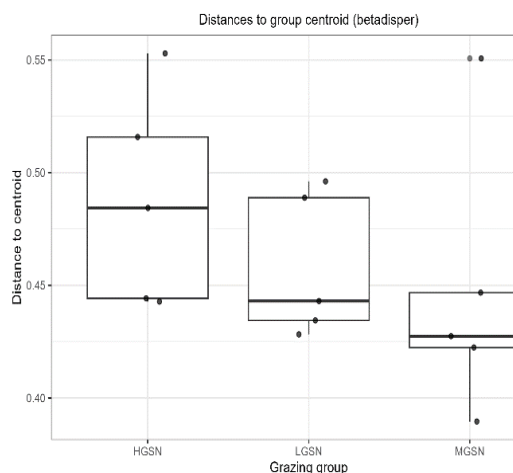


Figure 1 – Beta dispersion of soil bacterial communities across grazing intensities in steppe pastures based on Bray-Curtis dissimilarity

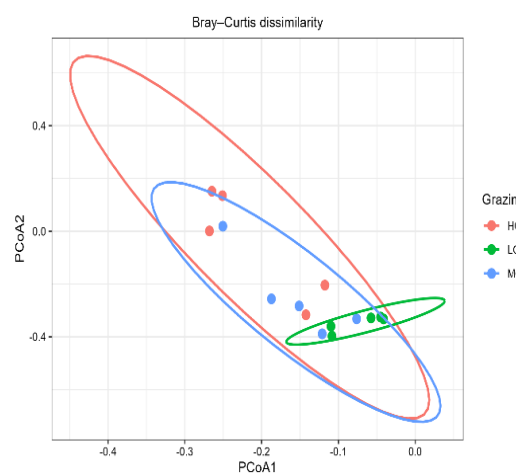


Figure 2 – Principal coordinates analysis (PCoA) of soil bacterial community composition across grazing intensities in steppe pastures based on Bray-Curtis dissimilarity

Ordination patterns from principal coordinates analysis further indicated partial overlap among grazing groups, suggesting that grazing-induced community changes occurred along a continuous gradient rather than as abrupt compositional shifts (Figure 2). Overall, these findings indicate that grazing intensity modifies bacterial community composition without increasing within-group heterogeneity.

Across all grazing intensities, soil bacterial communities in the steppe ecosystem were dominated by members of the phyla *Actinobacteriota*, *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Acidobacteriota*, and *Bacteroidota*, which together accounted for the majority of total sequence abundance (Figure 3).

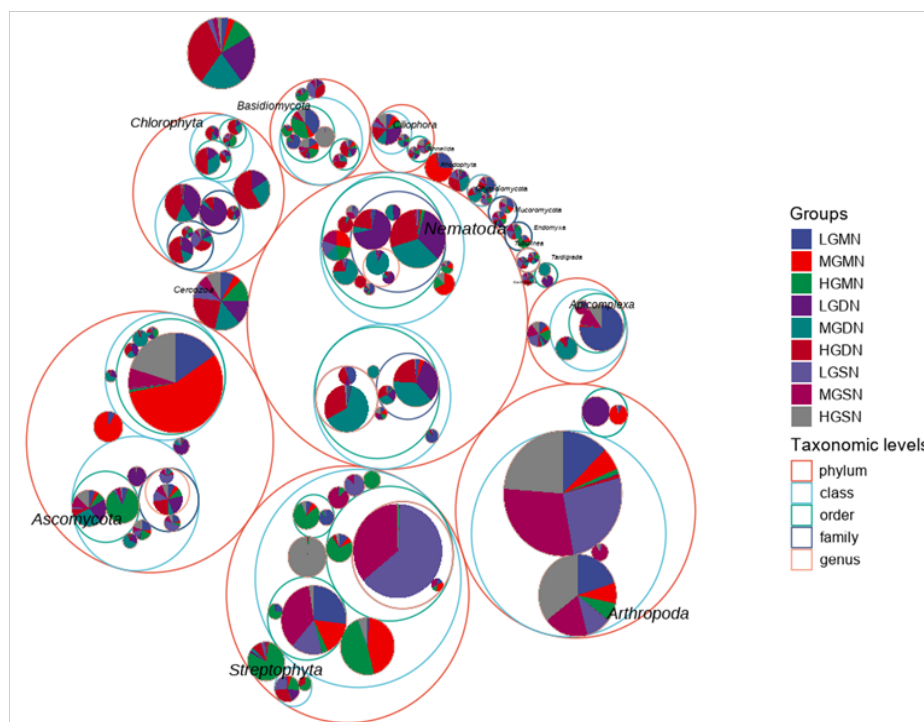


Figure 3 – Taxonomic composition of soil bacterial communities in steppe pastures across grazing intensities

The overall taxonomic structure at the phylum level remained broadly similar across grazing groups, indicating the presence of a shared core bacterial community adapted to steppe environmental conditions. However, variations in the relative abundance of dominant phyla were observed along the grazing gradient, suggesting reorganization of community structure rather than complete taxonomic turnover. Such stability of higher-level taxonomic composition under disturbance has been widely reported for grassland soils [20].

Classification of bacterial taxa according to Gram staining characteristics revealed distinct functional patterns along the grazing gradient (Figure 4).

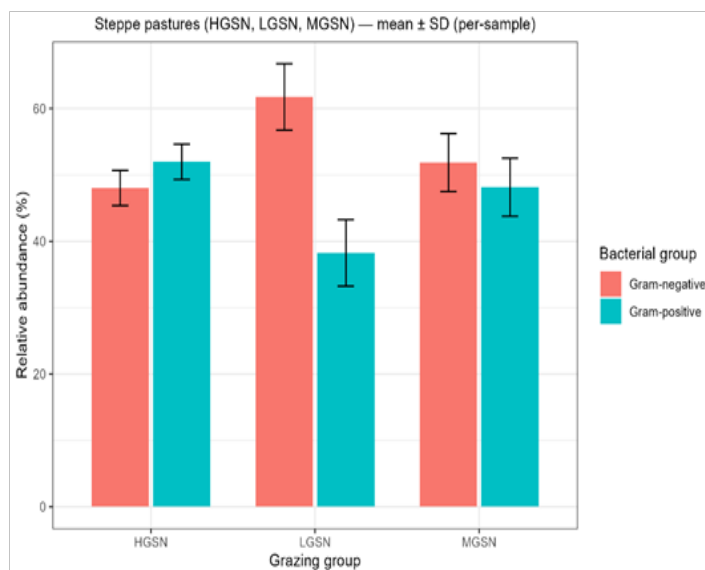


Figure 4 – Relative abundance of Gram-positive and Gram-negative bacterial groups across grazing intensities in steppe pastures, indicating a shift toward stress-tolerant bacterial groups under increased grazing pressure

Gram-positive bacteria, primarily represented by *Actinobacteriota* and *Firmicutes*, exhibited higher relative abundance under moderate and heavy grazing conditions, whereas Gram-negative bacteria, including *Proteobacteria* and *Bacteroidota*, were relatively more abundant under light grazing. The increased dominance of Gram-positive bacteria under elevated grazing pressure likely reflects their enhanced resistance to environmental stressors such as desiccation, nutrient limitation, and physical disturbance. Traits such as thick cell walls, spore formation, and conservative growth strategies may confer competitive advantages under grazing-induced soil stress [4,5]. These stress-tolerant groups primarily include representatives of *Actinobacteriota* (e.g., *Streptomyces*, *Nocardia*) and spore-forming *Firmicutes* (e.g., *Bacillus*, *Clostridium*). In contrast, Gram-negative bacteria are often associated with copiotrophic lifestyles and higher availability of labile organic substrates, conditions more typical of less disturbed soils [3]. The observed shifts in Gram-positive and Gram-negative proportions therefore suggest that trait-based microbial indicators may provide sensitive signals of grazing pressure. Gram classification in this study was assigned at the phylum level and therefore represents a functional approximation rather than a strict taxonomic distinction. Functional heterogeneity may exist within individual phyla, and not all taxa within *Actinobacteriota* or *Firmicutes* necessarily exhibit uniform physiological responses to environmental stress. Consequently, the observed Gram-positive and Gram-negative patterns should be interpreted as indicative of broad community-level functional tendencies rather than precise trait-based classifications at lower taxonomic resolution. Importantly, these functional shifts occurred without substantial loss of overall bacterial diversity, indicating that grazing alters community structure and functional balance rather than causing microbial degradation per se. Similar trait-based microbial responses have been proposed as early indicators of soil disturbance preceding visible changes in vegetation [21].

Despite significant changes in taxonomic richness and community composition, phylogenetic diversity remained stable across grazing intensities, as indicated by Faith's PD values. This suggests that

grazing-induced changes occurred primarily within existing evolutionary lineages rather than through the loss of deeply divergent taxa. Phylogenetic patterns further revealed that taxa persisting under higher grazing pressure tended to cluster within specific lineages associated with stress tolerance, particularly within *Actinobacteriota* (Figure 5).

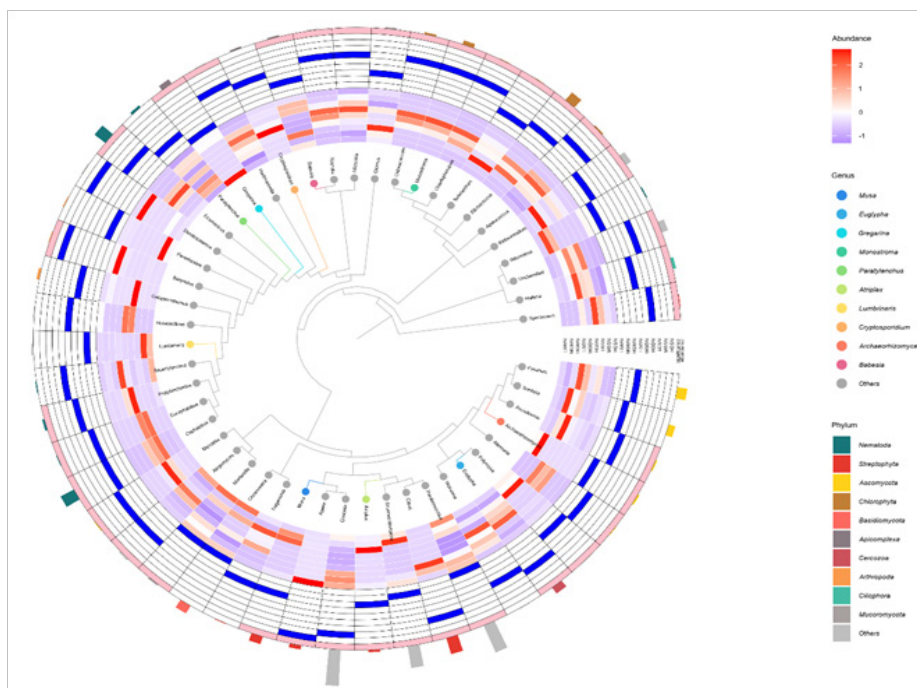


Figure 5 – Phylogenetic relationships of dominant soil bacterial taxa across pasture ecosystems

Such patterns support the concept of phylogenetic conservatism, whereby closely related taxa share adaptive traits that confer resilience to environmental disturbance [22]. Overall, the results indicate that grazing acts as an environmental filter, reshaping bacterial communities through lineage-level reorganization while preserving overall evolutionary structure. The combined alpha and beta diversity results demonstrate that soil bacterial communities in steppe pastures exhibit a high degree of resilience to grazing disturbance, highlighting the importance of ecosystem-specific and trait-based approaches when assessing grazing impacts on soil microbial diversity and pasture sustainability [20].

A limitation of this study is the absence of direct measurements of key abiotic soil properties, such as soil moisture, organic carbon content, and nutrient availability, which are known to strongly influence microbial community composition. Incorporating these environmental parameters in future studies would improve the mechanistic interpretation of grazing-induced microbial responses. It should also be noted that functional interpretations in this study are based on taxonomic inference derived from 16S rRNA gene sequencing rather than direct measurements of microbial metabolic potential. Consequently, the trait-based patterns observed here should be interpreted as indirect indicators of functional shifts within the microbial community.

Conclusion

This study provides a comprehensive assessment of soil bacterial community responses to grazing pressure within steppe pasture ecosystems of Central Asia. By integrating taxonomic, phylogenetic, and compositional analyses based on high-throughput 16S rRNA gene sequencing, we demonstrate that grazing influences bacterial communities in a selective and context-dependent manner rather than causing uniform degradation.

Our results show that grazing pressure significantly affected bacterial taxonomic richness, as reflected by changes in Chao1 and observed species richness indices. Richness responses to grazing were ecosystem-specific, with the steppe zone exhibiting elevated richness under heavy grazing. In contrast, diversity indices incorporating community evenness, including Shannon diversity, Simpson

index, and Pielou's evenness, remained relatively stable across grazing regimes. These findings indicate that grazing primarily alters the number of taxa present rather than the relative distribution of abundances among dominant bacterial groups.

Beta diversity analyses further revealed significant differences in bacterial community composition among grazing groups, suggesting that grazing pressure reshapes community structure through gradual compositional shifts. The absence of significant differences in multivariate dispersion confirms that these patterns reflect genuine changes in community composition rather than increased variability within grazing groups. Together, these results indicate that grazing modifies bacterial assemblages along a continuum, without inducing abrupt community reorganization.

Analysis of Gram-positive and Gram-negative bacterial groups revealed contrasting responses to grazing intensity. Gram-positive bacteria, particularly representatives of Actinobacteriota and Firmicutes, increased in relative abundance under moderate grazing, whereas Gram-negative bacteria were more prevalent under lighter grazing conditions. This shift suggests that grazing favors stress-tolerant bacterial lineages with traits adapted to resource limitation and physical disturbance.

Despite observable changes in taxonomic composition and richness, phylogenetic diversity remained relatively conserved across grazing regimes. This indicates that grazing-induced shifts occur primarily within existing evolutionary lineages, supporting the concept of environmental filtering acting on phylogenetically conserved traits rather than eliminating broad evolutionary groups.

Overall, the findings highlight the resilience of steppe soil bacterial communities to grazing disturbance and emphasize that grazing effects on microbial diversity cannot be generalized across ecosystems. Instead, microbial responses are shaped by interactions between grazing pressure, environmental constraints, and long-term adaptation to arid and semi-arid conditions. These results underscore the importance of ecosystem-specific assessments when evaluating grazing impacts on belowground biodiversity and provide a foundation for integrating microbial indicators into sustainable rangeland management strategies in Central Asian pastures.

Authors' contributions

MT, DW and AK: conceptualized and designed the study, conducted a comprehensive literature search, analyzed the collected data, and drafted the manuscript. KK, AK and AS: conducted the literature search and proofread the manuscript. All authors read, reviewed, and approved the final version of the manuscript.

References

- 1 Milchunas, D. G., Lauenroth, W. K. (1993). Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs*, 63(4), 327-366. DOI: 10.2307/2937150.
- 2 Bai, Y., Wu, J., Clark, C.M., Pan, Q., Zhang, L., Chen, S., Wang, Q., Han, X. (2012). Grazing alters ecosystem functioning and C:N:P stoichiometry of grasslands along a regional precipitation gradient. *Journal of Ecology*, 100(1), 123-137. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02205.x
- 3 Fierer, N., Bradford, M. A., Jackson, R. B. (2007). Toward an ecological classification of soil bacteria. *Ecology*, 88(6), 1354-1364. DOI: 10.1890/05-1839.
- 4 Schimel, J. P., Balsler, T. C., Wallenstein, M. (2007). Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. *Ecology*, 88(6), 1386-1394. DOI: 10.1890/06-0219.
- 5 Kramer, C., Gleixner, G. (2008). Soil organic matter in soil depth profiles: Distinct carbon preferences of microbial groups during carbon transformation. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(2), 425-433. DOI: 10.1016/j.soilbio.2007.09.016
- 6 Manzoni, S., Taylor, P., Richter, A., Porporato, A., Ågren, G.I. (2012). Environmental and stoichiometric controls on microbial carbon-use efficiency in soils. *New Phytologist*, 196(1), 79-91. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2012.04225.x.
- 7 Xun, W., Yan, R., Ren, Y., et al. (2018). Grazing alters soil bacterial functional groups and microbial processes in grassland ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 123, 36-45. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.04.009.

- 8 Wang, Y., Li, C., Kou, Y., et al. (2020). Environmental gradients shape soil microbial community responses to grazing disturbance. *Science of the Total Environment*, 712, 136475. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136475.
- 9 Wardle, D.A. (2002). *Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components*. Princeton University Press, 408.
- 10 Fierer, N., Jackson, R. B. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(3), 626-631. DOI: 10.1073/pnas.0507535103.
- 11 Fierer, N. (2017). Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, 15(10), 579-590. DOI: 10.1038/nrmicro.2017.87.
- 12 Faith, D.P. (1992). Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological Conservation*, 61(1), 1-10. DOI: 10.1016/0006-3207(92)91201-3.
- 13 Bray, J. R., Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325-349.
- 14 Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1), 32-46. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x.
- 15 Anderson, M. J., Ellingsen, K. E., McArdle, B. H. (2006). Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology Letters*, 9(6), 683-693. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2006.00926.x.
- 16 Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., et al. (2022). *vegan: Community ecology package (Version 2.6-4) [R package]*. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- 17 Xiang, M., Tan, G.T., Bai, Y., Liu, Y. (2025). Grazing Intensity Modifies Soil Microbial Diversity and Community Structure in Global Grasslands - Evidence from Meta-analysis. *Microorganisms*, 13(1), 138. DOI:10.3390/microorganisms13010138.
- 18 Allison, S.D., Martiny, J.B.H. (2008). Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(1), 11512-11519. DOI: 10.1073/pnas.0801925105.
- 19 Delgado-Baquerizo, M., Oliverio, A. M., Brewer, T.E., Benavent-González, A., Eldridge, D. J., Bardgett, R. D., Fierer, N. (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science*, 359(6373), 320-325. DOI: 10.1126/science.aap9516.
- 20 Bardgett, R., van der Putten, W.H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515, 505-511. DOI: 10.1038/nature13855.
- 21 Schloter, M., Nannipieri, P., Sørensen, S. J., van Elsas, J. D. (2018). Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 54(1), 1-10. DOI: 10.1007/s00374-017-1248-3.
- 22 Martiny, J.B.H., Jones, S. E., Lennon, J. T., Martiny, A. C. (2015). Microbiomes in light of traits: A phylogenetic perspective. *Science*, 350(6261), aac9323. DOI: 10.1126/science.aac9323.

Trait-based (основанные на функциональных признаках) реакции грамположительных и грамотрицательных почвенных бактерий на интенсивность выпаса в степных экосистемах

Тастыбай М.Б., Дели Ванг, Канаев А.Т., Кушенов К.И., Сейтбатталова А.И.

Аннотация

Предпосылки и цель. Степные пастбища Центральной Азии подвергаются длительному пастбищному воздействию, которое может изменять почвенные свойства и структуру подземных микробных сообществ. Почвенные бактерии играют ключевую роль в круговороте питательных веществ и устойчивости экосистем, однако их реакции на интенсивность выпаса в степных экосистемах остаются недостаточно изученными. Целью настоящего исследования была оценка влияния интенсивности выпаса на разнообразие почвенных бактерий, состав сообществ и функциональную структуру с особым акцентом на таксономическое богатство и группы грамположительных и грамотрицательных бактерий.

Материалы и методы. Почвенные образцы были отобраны на степных пастбищах с лёгкой, умеренной и сильной степенью выпаса. Состав бактериальных сообществ анализировали

методом высокопроизводительного секвенирования гена 16S рРНК. Рассчитывали показатели альфа-разнообразия (Chao1, наблюдаемое видовое богатство, индексы Шеннона, Симпсона, равномерности Пиелу и филогенетического разнообразия Фейта). Бета-разнообразии оценивали с использованием расстояния Брея–Кёртиса, анализа главных координат (PCoA) и пермутационного многомерного дисперсионного анализа (PERMANOVA). Однородность многомерной дисперсии оценивали методом betadisper. Таксоны бактерий дополнительно классифицировали на грамположительные и грамотрицательные группы для оценки функциональных реакций на выпас.

Результаты. Показатели таксономического богатства достоверно различались между группами интенсивности выпаса, что свидетельствует о чувствительности бактериального богатства к пастбищному воздействию. В то же время индексы Шеннона, равномерности и филогенетического разнообразия не выявили значимых различий, указывая на структурную стабильность бактериальных сообществ. Анализ бета-разнообразия показал достоверные различия в составе сообществ между группами выпаса при отсутствии различий в дисперсии, что подтверждает реальные сдвиги в составе сообществ. Функциональный анализ выявил контрастные реакции грамположительных и грамотрицательных бактерий вдоль градиента выпаса.

Закключение. Интенсивность выпаса в степных экосистемах в первую очередь влияет на таксономическое богатство и состав почвенных бактериальных сообществ, тогда как равномерность разнообразия и филогенетическая структура остаются относительно стабильными. Выпас выступает в роли экологического фильтра, формируя функциональную структуру микробных сообществ без выраженной потери бактериального разнообразия. Полученные результаты подчёркивают устойчивость почвенных бактериальных сообществ степей и подтверждают целесообразность использования микробных индикаторов в устойчивом управлении пастбищами.

Ключевые слова: альфа-бета разнообразие; грамположительные бактерии; грамотрицательные бактерии; интенсивность выпаса; почвенные бактерии; степные пастбища.

Далалық экожүйелерде жайылым қарқындылығына жауап ретінде грам-оң және грам-теріс топырақ бактерияларының функционалдық белгілерге негізделген (trait-based) реакциясы

Тастыбай М. Б., Дели Ван, Канаев А. Т., Кушенов К. И., Сейтбатталова А. И.

Түйін

Алғышарттар және мақсат. Орталық Азияның далалық жайылымдары ұзақ мерзімді жайылым әсеріне ұшырап, топырақ қасиеттері мен жерасты микробтық қауымдастықтарының құрылымын өзгертуі мүмкін. Топырақ бактериялары қоректік элементтердің айналымында және экожүйелердің тұрақтылығында маңызды рөл атқарады, алайда олардың жайылым қарқындылығына реакциясы далалық экожүйелерде жеткілікті деңгейде зерттелмеген. Осы зерттеудің мақсаты – жайылым қарқындылығының топырақ бактерияларының әртүрлілігіне, қауымдастық құрамына және функционалдық құрылымына әсерін, әсіресе таксономиялық байлық пен грам-оң және грам-теріс бактериялар топтарына баса назар аударып, бағалау.

Материалдар мен әдістер. Топырақ үлгілері жеңіл, орташа және күшті жайылым жағдайындағы далалық жайылымдардан алынды. Бактериялық қауымдастықтардың құрамы 16S рРНК генин жоғары өнімді секвенирлеу әдісімен анықталды. Альфа-әртүрлілік көрсеткіштері (Chao1, байқалған түрлік байлық, Шеннон, Симпсон индекстері, Пиелу теңдестігі және Фейттің филогенетикалық әртүрлілігі) есептелді. Бета-әртүрлілік Брей-Кёртис қашықтығы, негізгі координаталар талдауы (PCoA) және пермутациялық көпөлшемді дисперсиялық талдау (PERMANOVA) арқылы бағаланды. Көпөлшемді дисперсияның біртектілігі betadisper әдісімен

тексерілді. Функционалдық жауаптарды бағалау үшін бактериялық таксондар грамоң және грамтеріс топтарға жіктелді.

Нәтижелер. Таксономиялық байлық көрсеткіштері жайылым қарқындылығы бойынша айтарлықтай айырмашылық көрсетті, бұл бактериялық байлықтың жайылым әсеріне сезімтал екенін дәлелдейді. Ал Шеннон индексі, теңдестік көрсеткіштері және филогенетикалық әртүрлілік бойынша мәнді айырмашылықтар байқалмады, бұл бактериялық қауымдастықтардың құрылымдық тұрақтылығын көрсетеді. Бета-әртүрлілік талдауы жайылым топтары арасында қауымдастық құрамында елеулі айырмашылықтарды анықтады, ал дисперсияның айырмашылығы болмауы нақты құрамдық өзгерістердің бар екенін растады. Функционалдық талдау жайылым градиенті бойында грамоң және грамтеріс бактериялардың қарама-қарсы жауаптарын көрсетті.

Қорытынды. Далалық экожүйелерде жайылым қарқындылығы топырақ бактерияларының таксономиялық байлығы мен қауымдастық құрамына негізінен әсер етеді, ал әртүрліліктің теңдестігі мен филогенетикалық құрылымы салыстырмалы түрде тұрақты болып қалады. Жайылым микробтық функционалдық құрылымды қалыптастыратын экологиялық сүзгі ретінде әрекет етеді және бактериялық әртүрліліктің айқын төмендеуіне әкелмейді. Алынған нәтижелер далалық топырақ бактериялық қауымдастықтарының тұрақтылығын көрсетіп, тұрақты жайылым басқаруында микробтық индикаторларды қолданудың маңыздылығын дәлелдейді.

Кілт сөздер: альфа-бета әртүрлілік; грамоң бактериялар; грамтеріс бактериялар; жайылым қарқындылығы; топырақ бактериялары; далалық жайылымдар.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - P.-198-212. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2134

ӘОЖ 631.44:662.636:632.125(045)

Шолу мақаласы

Экологиялық деградацияға ұшыраған тұзданған және органикалық ластанған топырақты қалпына келтірудегі биокөмірдің рөлі

Қазез А.¹ , Бексейтова К.¹ , Жаппарова А.А.² , Кенжегулова С.О.³ , Тоқтар М.¹ ,
Азат С.¹ 

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

³С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: Кенжегулова С.О.: saya_keng@mail.ru

Бірлескен авторлар: (1: АК) altyn8393@gmail.com; (2: КВ) bekalsu@mail.ru

(3: АZh) aigul7171@inbox.ru; (4: МТ) murat-toktar@mail.ru; (5: СА) s.azat@satbayev.university

Қабылданған күні: 29.01.2026 **Қабылданды:** 18.02.2026 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Бұл шолу мақалада биокөмірдің тұзданған, кебірленген және органикалық ластанған топырақтардың физикалық-химиялық және биологиялық қасиеттеріне әсері мен дақылдардың өнімділігін арттырудағы рөлін қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – биокөмірді қолдану арқылы топырақ қасиеттерін жақсарту, ластаушы заттардың бейтараптандырылуын арттыру және ауыл шаруашылығы өнімділігін жоғарлату жолдарын анықтау.

Материалдар мен әдістер. Шолу материалдары негізінде биокөмірдің әртүрлі шикізат түрлері (ағаш, лигноцеллюлоза, көң), оларды 450-600 °С температурада пиролиздеу жағдайлары және кейбір үлгілерді Fe немесе O/N қоспаларымен функционалдандыру әдістері бойынша салыстырмалы талдау жүргізілді. Сонымен қатар, биокөмірді топыраққа енгізу мөлшері (1–40 т/га) және оның топырақтың рН-ы, электр өткізгіштігі (ЕСе), натрий индекстері (SAR, ESP), су ұстау қабілеті (WHC), катион алмасу сыйымдылығы (СЕС), органикалық көміртегі (SOC), ластаушы заттарды жою тиімділігі мен дақыл өнімділігіне әсері бағаланады.

Нәтижелер. Биокөмір тұзданған топырақта электрлік өткізгіштікті (ЕСе) 7-30%-ға дейін төмендетіп, дақыл өнімділігін 20-32%-ға арттырғанын көрсетті. Кебір топырақта ESP 15-25%-ға, SAR шамамен 20%-ға төмендеді. Органикалық ластаушылар болған жағдайда РАН пен пестицидтерді жою тиімділігі 70-90%-ға жетіп, мұнай көмірсутектерінің мөлшері 30-70%-ға азайды. Биокөмір топырақ құрылымын жақсартып, микроорганизмдердің белсенділігін арттырды. Функцияландырылған үлгілердің сорбциялық және каталитикалық қасиеттері күшейді, ал қолдану мөлшері мен енгізу тереңдігі тиімділікті анықтайтын маңызды факторлар болды.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері биокөмір топырақты қалпына келтіруде көпфункционалды және тұрақты құрал екенін көрсетті. Ол тұздылық пен қышқылдықты реттеуге, органикалық ластаушыларды бейтараптандыруға және дақыл өнімділігін арттыруға ықпал етеді.

Нәтижелер. Биокөмірді стандартталған тәсілдермен қолданудың тиімділігін растап, тұрақты ауыл шаруашылығы мен экологиялық қалпына келтіруде маңызды рөл атқаратынын көрсетеді.

Кілт сөздер: биокөмір; тұздану; пестицидтер; мұнай көмірсутектері; ремедиация; топырақ.

Кіріспе

Тұздану мен органикалық ластанудан туындаған топырақтың деградациясы ХХІ ғасырдағы ең өзекті жаһандық экологиялық мәселелерінің біріне айналды. Топырақтың тұздануы – бұл ауыл шаруашылығы үшін өте қауіпті процесс, себебі ол топырақтың өнімділігін едәуір төмендетіп, жердің ұзақ мерзімді пайдалану қабілетін шектейді. Әлем бойынша топырақтың тұздануынан зардап шегетін аумақтар көп, және бұл мәселе әсіресе су тапшылығы және жоғары булану деңгейі бар аймақтарда айқын байқалады. FAO-ның бағалауы бойынша, дүние жүзінде бір млрд га астам жер суармалы егістік алқаптарының 20%-дан астамын құрайтын топырақ тұздануынан зардап шегеді [1]. Бұл көрсеткіш топырақтың құнарлылығын сақтап қалуға арналған әртүрлі шаралар мен әдістердің қажеттілігін айқындайды.

Тұзданудың негізгі себептері – суарудың дұрыс ұйымдастырылмауы, төмен су сапасы және жоғары булану. Бұл мәселе әсіресе Орталық Азия сияқты шөл және шөлейтті аймақтарда өте маңызды. Мысалы, Орталық Азияда тұздың жиналуын айтарлықтай тездететін су тапшылығы мен жоғары булану топырақ кескінінде тұздың жинақталуына әкеледі [2]. Қазақстанның оңтүстігінде және батысында, әсіресе Сырдария мен Өмудария бассейндерінде тұздану проблемасы кеңінен таралған. Суармалы егістік алқаптарының негізгі бөлігі бидай, мақта және күріш өсімдіктеріне арналған, ал бұл да тұздың топыраққа қосылуына ықпал етеді. Осы аймақтарда топырақтың екінші реттік тұздану үрдістері орын алып, бұл өнімнің айтарлықтай төмендеуіне әкеледі, себебі тұздың топыраққа жиналуы оның құрылымын бұзады, су және қоректік заттармен қамтамасыз ету процесін қиындатады.

Тұзданудың теріс әсерінен басқа, антропогендік ластану да топырақтың сапасына үлкен қауіп төндіреді. Өнеркәсіптің кеңеюі, әсіресе Қазақстанның Батыс өңірінде (Атырау, Маңғыстау) мұнайды барлау мен өндіру, сондай-ақ басқа да өнеркәсіптік қызметтердің әсері, топырақтың техногенді ластануына әкеліп соқтырды. Бұл аймақтарда мұнай көмірсутектерінің қалдықтары, полициклді хош иісті көмірсутектер және ауыр металдар топыраққа жиналады, бұл оның экологиялық жағдайын нашарлатады және ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуіне теріс әсер етеді [3, 4]. Сонымен қатар, Жамбыл және Орталық Қазақстан өңірлеріндегі пестицидтерді шамадан тыс қолдану топырақтың химиялық құрамын бұзады, олар топырақтың микробиологиялық белсенділігін төмендетеді, бұл да өнімділікке теріс әсер етеді. Қазақстанның оңтүстік және шығыс өңірлерінде пестицидтердің көп қолданылуы экожүйеге ұзақ мерзімді әсер етуі мүмкін.

Осылайша, топырақтың тұздануы мен органикалық ластануы қазіргі уақытта ауыл шаруашылығына және экологияға зор зиян келтіріп отыр. Бұл мәселелердің шешімі жерді тиімді пайдалануды, су ресурстарын дұрыс басқаруды, химиялық тыңайтқыштар мен пестицидтерді қолдануды тәртіпке келтіру және экологиялық тұрғыдан таза әдістерді қолдану болып табылады.

Тұздану өсімдіктердің су мен қоректік заттарды сіңіруіне кедергі келтіретін осмостық кернеуді тудырып, электр өткізгіштігін (ЕСе) жоғарылату арқылы топырақтың қасиеттеріне әсер етеді. Натрийдің жоғары адсорбциялық коэффициенті (SAR) және алмасатын натрий пайызы (ESP) гранулометриялық құрамы құмбалшықты топырақтың минералдарын тұрақсыздандырады, топырақ агрегаттарын бұзады және гидравликалық өткізгіштікті төмендетеді, егістік өнімділігін одан әрі шектейді [5, 6]. Сонымен қатар, органикалық ластағыштар гидрофобтылығы мен микробтардың деградациясына төзімділігіне байланысты топырақта сақталады, топырақ құнарлылығына, азық-түлік қауіпсіздігіне және экожүйе тұрақтылығына ұзақ мерзімді қауіп төндіреді [7]. Топырақты өңдеу, химиялық тотығу немесе жуу сияқты дәстүрлі қалпына келтіру әдістері қымбат, энергияны көп қажет етеді және үлкен көлемдегі аумақтарда практикалық тұрғыдан тиімділігі төмен болып табылады.

Биокөмір – бұл өсімдік қалдықтары, көң немесе ағаш сияқты биомассаның пиролизі арқылы алынған көміртегіге бай органикалық өнім. Бұл материалдың ерекше қасиеттері оны тұрақты ауыл шаруашылығының маңызды құрамдас бөлігі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Биокөмірдің ең маңызды сипаттамаларының бірі – оның жоғары кеуектілігі мен үлкен бетінің ауданы. Сонымен қатар, оның құрамындағы функционалдық топтар оның көптеген пайдалы қасиеттерін іске асыруға мүмкіндік береді. Биокөмірдің бұл қасиеттері оны әртүрлі экологиялық процестерде қолдануға өте тиімді етеді. Ол топырақта тұз бен ластаушы заттарды

иммобилизациялау қабілетіне ие, сонымен бірге топырақтың рН буферін жақсартуға, топырақтағы органикалық заттардың құрамын арттыруға мүмкіндік береді [8, 9].

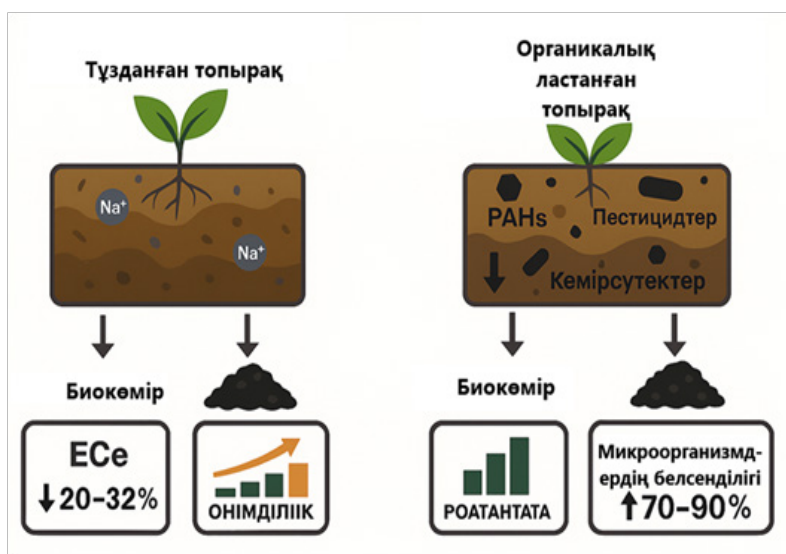
Биокөмірдің тұзданған топырақта ерекше әсері бар. Бұл жағдайда, биокөмір топырақтың электр өткізгіштігін (ЕСе) төмендетіп, оның өнімділігін едәуір жақсартады. Қышқыл топырақта Са/Mg бай биокөмірлер натрий иондарын алмастырып, топырақтың құрылымын қалпына келтіріп, инфильтрация процестерін жақсартады. Бұл, өз кезегінде, топырақтың су ұстау қабілетін жақсартуға және өнімділіктің өсуіне ықпал етеді [10]. Ластанған топырақта биокөмірдің көмегімен полициклді ароматты көмірсутектер (РАН), пестицидтер мен басқа да органикалық ластаушы заттар адсорбцияланады. Бұл биокөмірдің ластанған экожүйелерде шіру процесін ынталандырып, микроғзалардың ластанған заттарды бұзу қабілетін арттырады [11, 12].

Сонымен қатар, биокөмірдің әсері ғылыми зерттеулермен кеңінен расталған. Металдаулар нәтижесінде биокөмірдің ауыл шаруашылығында қолданылуы егін өнімділігін 20-32%-ға арттыратыны және топырақтың органикалық көміртегінің мөлшерін 50%-дан астамға жақсартатыны анықталды [13, 14]. Бұл көрсеткіштер оның топырақтың құнарлылығын арттыруда, суармалы жерлерде және басқа да агроэкологиялық жағдайларда маңызды рөл атқаратынын дәлелдейді.

Биокөмір тек экологиялық қалпына келтіру құралы ретінде ғана емес, сонымен бірге жерді тұрақты басқару және климаттық өзгерістерге қарсы күресте маңызды катализатор болып табылады. Ол топырақтың сапасын жақсарту, су мен тыңайтқыштарды үнемдеу, көміртегі мен басқа да ластаушы заттардың ауаға бөлінуін төмендету үшін негізгі құралдардың бірі болып табылады. Бұл табиғи ресурстарды тиімді пайдалануды қамтамасыз етеді, ауыл шаруашылығында тұрақты даму моделін енгізуге ықпал етеді және жер бетіндегі экологиялық теңдікті сақтауға үлкен үлес қосады.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу әдістері бойынша биокөмірдің топырақтың физика-химиялық немесе биологиялық қасиеттеріне әсері туралы ғылымдардың нақты тәжірибелік немесе далалық мәліметтерімен қамтамасыз ететін зерттеулері негізіндегі салыстырмалы талдау нәтижелерін қамтиды. Сол зерттеулердегі зертханалық, жылыжайлық және далалық тәжірибелер қарастырылды. Талданатын негізгі параметрлерге топырақтың рН, электр өткізгіштігі (ЕСе), натрийдің адсорбциялық коэффициенті (SAR), алмаспалы натрий пайызы (ESP), су ұстау қабілеті (WHC), катион алмасу қабілеті (CEC), топырақтың органикалық көміртегі (SOC), ластаушы заттарды азайту тиімділігі және дақылдардың өнімділігі бойынша талдау нәтижелері кіреді (1-сурет).



1-сурет – Биокөмірдің топырақты ремедиациялаудағы қасиеттері

Салыстырмалы нәтижелерде ластану кластары мен стресс факторларын, сандық талдау нәтижелерін, жобалау нұсқауларын, стандартталған нәтижелік көрсеткіштерін және нақты далалық зерттеу нәтижелерін қамтитын дәйекті дәлелдер талданған (1-5 кесте). Әдістемелік сәйкестікке, қолдану жылдамдығына, пиролиз шарттарына, шикізатты таңдауға, биокөмірді енгізу тереңдігіне және қосымша жақсарту әдістеріне (мысалы, гипс, компост немесе микроорганизмдер) назар аударылды. Бұл құрылымдық тәсіл әртүрлі эксперименттік қорытындыларды жаһандық және аймақтық контексттерге қолданылатын үйлесімді құрылымға біріктіруге мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау

Биокөмірдің топырақтың тұз құрамына және мөлшеріне әсер етуі бойынша интерпретациялық тұжырымдамалық талдаулар келтірілген (1-кесте).

1-кесте – Ластану кластары, стресс факторлары және биокөмірдің қалпына келтіру механизмдері

Топырақтың ластану түрлері	Қолайсыз факторлар	Ластаушылардың доминант түрлері	Биокөмір қасиеттері	Биокөмірдің эксперименттік механизмдері	Дереккөздер
Тұзды топырақ	Жоғары ЕСе, осмостық кернеу	NaCl, Na ₂ SO ₄	Орташа сілтілік, кеуектілік, ОСК	Шаймалау, Na ⁺ алып тастау	[15]
Кебір топырақ	Жоғары ESP, SAR	NaHCO ₃ , Na ₂ CO ₃	Кальциймен байытылған органикалық материалдар	Na ⁺ алмасу, жинақтау	[5, 16]
Тұзды-сілтілі топырақ	Жоғары деңгейдегі тұздылық	Аралас тұз	Ағаш қабығы	pH буферлеу, Na ⁺ ығысу	[17]
Органикалық ластаушы заттар	Тұрақтылық, уыттылық	Полицикλικа лық хош иісті көмірсутектер, пестицидтер, ТРН (жалпы мұнай көмірсутектері)	Жоғары SSA, хош иісті биокөмір	Сорбция және микробты ынталандыру	[18, 19]

Ластанған және тұзданған топырақты жақсартуда нәтижелі эксперименттік зерттеулерде оның ішінде топырақтың ластану кластары, стресс факторлары және биокөмірдің қалпына келтіру механизмдері бойынша топырақ контекстіне байланысты әртүрлі механизмдерді көрсетеді (1-кесте). Тұзды топырақта шамадан тыс Na⁺ және Cl⁻ иондарын буферлеу арқылы осмостық кернеуді азайтады, олардың биожетімділігін төмендетеді. Кебір топырақта Ca/Mg бай биокөмірлер иондардың алмасуында Na⁺ алмастыруға көмектеседі, топырақ құрылымы мен өткізгіштігін арттырады. Органикалық ластаушылар үшін биокөмір екі жақты рөл атқарады: оның үлкен бетінің ауданына байланысты физикалық адсорбция және (π-π) топырақта органикалық заттар мен химиялық элементтердің адсорбциясы күшейеді. Сонымен қатар, биокөмір көбінесе микроорганизмдердің белсенділігін арттырады, осылайша ластаушы заттардың биодеградациясын тездетеді. Бұл синергиялық әсерлер биокөмірді топырақты жақсартуға қажетті қосымша мелиорант және биотыңайтқыштарды енгізу, әсіресе гипс, компост немесе микробтық егу оң нәтиже беретіндігін байқауға болады.

2-кесте – Биокөмірдің өнімділікке әсері бойынша нәтижелер

Топырақтың ластану түрі	Интервенция	Нәтижелер	Әсермөлшері	Қосымша жақсарту	Жүйелік талдаулар	Дерек көздер
Тұзданған	Ағаш қабығы, 10-30 т/га	ЕСе↓, өнімділік↑	ЕСе ↓7-30%; кірістілік +20–32%	Шаю, тыңайтқыш	Бидай, күріш, жүгері	[15, 17]
Кебірленген	Са/Mg бай биокөмірлер	ESP↓, SAR↓	ESP ↓15-25%; SAR ↓20%	Гипс	Күріш, арпа	[5, 16]
РАНs (Полицикликалық хош иісті көмірсутектер)	Тотыққан көмір, 1–5%	ΣРАН↓, жартылай шығарылу кезеңі↓	50-90% жою	Микробтар	Топырақ/зертхана	[19]
Пестицидтер	Fe-түрлендірілген белгілер	Адсорбция↑	Жою >90%	Компост	Атразинді топырақ	[18, 20]
Мұнай НС (гидрокөмірсутектері)	Кеуекті таңбалар, 1-5%	ТРН↓, микротық↑	30-70% жою	Қоректік заттар	Мұнай кен орындары, зертхана	[21]

Биокөмірдің ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігіне әсері бойынша нәтижелер бойынша сандық мәліметтер биокөмірдің топырақ жағдайын айтарлықтай жақсартатынын растайды (2-кесте). Тұздылық үшін ЕСе-нің 7-30%-ға төмендеуі және өнімділіктің 20-32%-ға артуы көрсетілген. Кебір топырақта биокөмір ESP деңгейін 25%-ға дейін және SAR шамамен 20%-ға төмендетеді, бұл инфильтрация мен агрегацияның жақсаруына әкеледі. РАН және пестицидтер үшін жою тиімділігі көбінесе 70-90% асады, әсіресе биокөмірді Fe немесе тотықтырғыш топтармен өзгерткенде тиімділігі жоғары. Мұнай көмірсутектері де 30-70%-ға тиімді төмендейді, микробтық биомасса мен ферменттердің белсенділігі параллельді арттырады. Бұл нәтижелер ластаушы заттардың иммобилизациялануын ғана емес, сонымен қатар экожүйені қалпына келтіруді көрсетеді, бұл биокөмірді қалпына келтіру және тұрақты ауыл шаруашылығы үшін интеграциялық тиімділік болып табылады.

3-кесте – Биокөмірдің әдістемелік тиімділіктері бойынша нұсқаулық талдаулар

Әдістемелік дизайны	Мөлшері	Негіздеме	Дереккөздер
Қолдану деңгейі	10-30 т/га; 1-5% с/б	Тиімді диапазоны	[15]
Пиролиз температурасы	450-550 °C	Тұрақты, функционалды	[16, 19]
Функцияландыру	Fe, O-/N-модификациясы	Жақсартылған сорбция	[18]
Шикізат	Ағаш/лигноцеллюлоза	Төмен тұз, жоғары SSA	[2, 9]
Қолдану тереңдігі	5-20 см	Тамыр аймағының әсері	[8, 16]

Биокөмірдің әдістемелік тиімділіктері бойынша деградацияға ұшыраған топырақты қалпына келтіру нәтижелері биокөмірді топыраққа енгізу тереңдігі мен мөлшеріне тікелей байланысты (3-кесте). Мысалы, 10-30 т/га қолдану мөлшері әдетте пайдалы, бірақ шамадан тыс қолдану еритін тұзға әсер етуі мүмкін. 450-550 °C арасындағы пиролиз температурасы биокөмірдің беткі ауданының функционалдығы мен тұрақтылығын теңестіру үшін оңтайлы болып табылады. Функцияландыру (мысалы, Fe оксидтері немесе N қоспаларымен) адсорбциялық және каталикалық қасиеттерді, әсіресе пестицидтер мен көмірсутектер үшін тиімділігі жоғары. Сонымен қатар, биокөмір шикізаттық таңдау да шешуші рөл атқарады: ағаш және лигноцеллюлозды биокөмірлер олардың төмен тұздылығы үшін оң нәтиже береді, ал көң негізіндегі биокөмірлер қажетсіз тұзды қосуы мүмкін.

4-кесте – Зерттеу нәтижелер бойынша стандартталған есеп көрсеткіштері

Метрика	Өлшем бірліктері	Мақсат	Есептік нәтижелер	Дереккөздер
ЕСе	дС/м	↓	% өзгерту және бақылау	[5, 16]
SAR/ESP	Көрсеткіштер	↓	Абсолютті және салыстырмалы	[5, 16]
Ластаушы заттарды жою	% жою, Kd, t1/2	↑	% CI	[19, 22]
Өнім/биота	т/га, биомасса	↑	Әсер ету өлшемдері	[23, 24, 25]

Биокөмірді қолданудағы стандартталған есеп көрсеткіштері бойынша көрсеткіштердің стандартталған есептік зерттеулер бойынша салыстыру үшін маңызды. Электр өткізгіштік (ЕСе), натрий индекстері (SAR және ESP), ластаушы заттарды азайту тиімділігі және өнімділікті арттыруы байқалады (4-кесте). Микроорганизмдердің биомассасын, ферменттердің белсенділігін және топырақтың органикалық көміртегін қоса алғанда, қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді экологиялық әсерлердің сақталуын қамтамасыз етеді. Мұндай стандарттау мета-талдауларды жеңілдетеді, маңызды әдістемелік ұсыныстар береді және биокөмірге негізделген қалпына келтіру тәжірибесіне арналған жаһандық нұсқауларды әзірлеуге көмектеседі.

5-кесте – Биокөмір материалдары бойынша дақылдарға және топыраққа әсерінің сандық нәтижелер

Топырақ/ контекст	Биокөмір түрі және пиролиз	Мөлшері	Нәтижелер	Әсер мөлшері	Жүйелік талдаулар	Анық тама
Тұзданған топырақ	Әртүрлі қабықтар биокөмірі, 500 °C	10-20 т/га	ЕСе, өнімділік	ЕСе ↓9,6%; өнімділік +20,8%	Бидай (егістік)	[2]
Тұзданған топырақ	Аралас шикізаттар	10-40 т/га	ЕСе, SOC, өнімділік	ЕСе ↓7-30%; SOC +55%; өнімділік+32%	Аралас дақылдар	[18]
Кебір топырақ	Көң биокөмірі, 450 °C	5-15 т/га	ESP, SAR	ESP ↓15-25%; SAR ↓20%	Күріш (егістік)	[5]
РАН топырағы	Тотыққан, 600 °C	2% с/б	ΣРАН	↓70%; t½ ↓40%	Зертхана	[19]
Атразинді топырақ	Fe-модификацияланған биокөмір	1% с/с	Атразиннің адсорбциясы	Жою >90%	Арнаулы тәжірибелік ыдыстар	[18]
Мұнай НС (көмірсутектері)	Кеукті ағаш, 500 °C	2% с/б	ТРН, микробтар	ТРН ↓60%; фермент ↑45%	Егіс алқабы	[21]

Бүгінгі таңда биокөмір материалдары бойынша дақылдарға және топыраққа әсерінің сандық нәтижелер бойынша зерттеулер биокөмірдің тиімділігі туралы нақты дәлелдер береді. Қытайдың сортаңды-сілтілі топырағында бидай өнімділігі ЕСе және натрий концентрациясының төмендеуімен қатар 20%-дан астамға жақсарды (5-кесте). Мета-талдаулар топырақтың органикалық көміртегінің 55%-ға артқанын және дақылдардың өнімділігінің шамамен 32%-ға жақсарғанын байқауға болады. Пәкістанда көңнен алынған биокөмір ESP және SAR деңгейін айтарлықтай төмендетіп, дала жағдайында күріш өнімділігін арттырғаны байқалады. Органикалық ластаушылар үшін Fe-модификацияланған биокөмірлер үнемі пестицидтерді 90%-дан астам жоюға қол жеткізеді, ал мұнай көмірсутектерімен ластанған топырақ ТРН 60%-ға дейін төмендеп, микробтық ферменттердің белсенділігін 45%-ға арттырды. Бұл нәтижелер биокөмірді топырақтың бірнеше

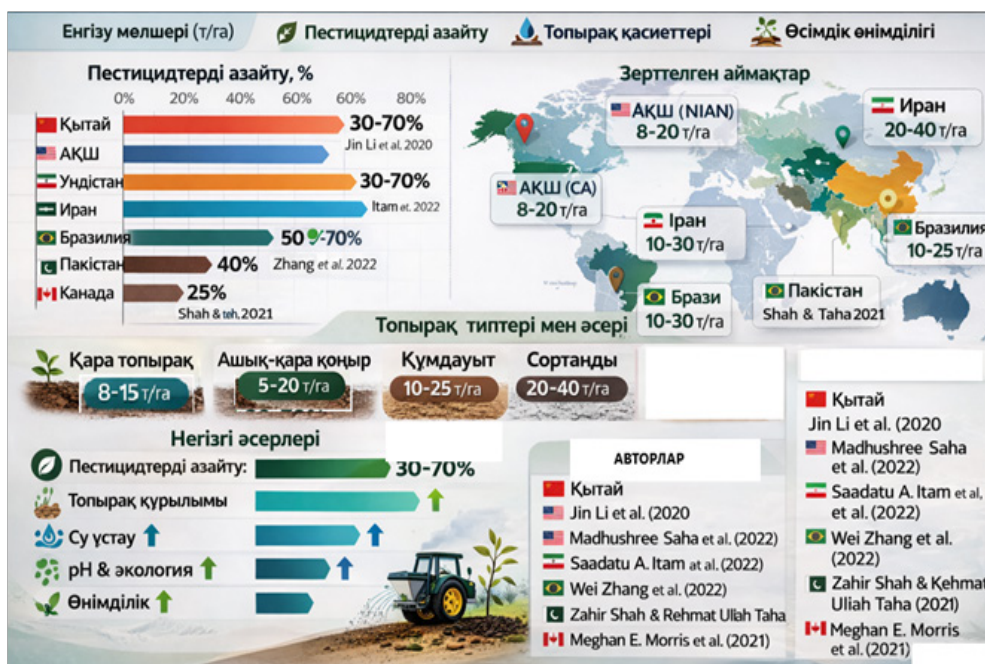
қолайсыз факторларын бір уақытта шешуге қабілетті мелиорант екенін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері биокөмірдің топырақтың тұздылығын, қышқылдығын және органикалық ластануын шешуде жоғары тиімділікке ие екенін көрсетеді. Тұзданған топырақта биокөмір ЕСе-ны төмендетеді және өнімділікті жақсартады, ал қышқыл топырақта ол ESP және SAR төмендетеді, топырақ құрылымын қалпына келтіреді. Органикалық ластағыштар үшін микробиологиялық белсенділікті арттырумен біріктірілген сорбция механизмдері 70-90%-дан асатын жою тиімділігіне әкеледі. Бұл нәтижелер биокөмірдің топырақты қалпына келтірудегі және тұрақты ауыл шаруашылығындағы көп функционалды рөлінің маңыздылығын көрсетеді. Функционалды биокөмірлер ластаушы заттардың жойылуын жақсартады. Биокөмірді аймақтық тұрғыдан қолдану, әсіресе Қазақстан жағдайында шектеулі, дегенмен бұл тұзданған және өнеркәсіптік ластанудан қатты зардап шегетіндіктен топырақ жағдайында стандартталған әдістемелер, ұзақ мерзімді далалық тәжірибелік эксперименттер және экономикалық талдаулары әртүрлі контексттерде биокөмірді енгізу көлемін ұлғайту үшін өте маңызды болып табылады.

Биокөмірді тұзданған топыраққа кең көлемде қолданатын елдердің зерттеулер нәтижелері (2-сурет) бойынша Қытайда жүргізілген зерттеулерде биокөмірдің әртүрлі дозалары қолданылды, оның ішінде 5-50 т/га мөлшерімен. Хіңжаң аймағында жүргізілген тәжірибелер бойынша, биокөмірдің қолданылуы тұзды топырақтардағы тұздылықты 20-30%-ға дейін төмендетті. Сонымен қатар, топырақтың құрылымы жақсарып, өсімдіктердің өсуі мен өнімділігі артты. Бұл зерттеу биокөмірдің тұзданған топырақтағы экологиялық әсерін және оның өсімдік өсуіне оң әсерін көрсетеді [26].

Америка Құрама Штаттарында жүргізілген зерттеулер биокөмірдің тұзды топырақтағы тиімділігін анықтады. Калифорния штатында биокөмір 15-25 т/га мөлшерінде қолданылған, бұл топырақтағы пестицидтердің деңгейін 30-40%-ға дейін төмендетті. Сонымен қатар, топырақтың құрылымы мен ылғал сақтау қабілеті жақсарды, бұл өсімдіктердің өсуін және өнімділігін арттырды [27].

Үндістанда Гуджарат штатында жүргізілген зерттеулерде биокөмірдің 10-25 т/га мөлшерінде қолданылуы тұзды топырақтардағы пестицидтердің концентрациясын 30-70%-ға дейін төмендетті. Топырақтың физикалық және химиялық қасиеттері жақсарды, ал өсімдіктердің өсуі айтарлықтай артты. Бұл зерттеу биокөмірдің тұзды топырақта экологиялық әсерін және оны қолданудың тиімділігін растады [28].



2-сурет – Биокөмірдің тұзданған топыраққа әсері бойынша салыстырмалы зерттеу нәтижелері

Еуропада да биокөмірдің әсері көптеген зерттеулерде қарастырылды. Германияда 20 т/га мөлшерінде қолданылған биокөмір тұзданған топырақта пестицидтердің қалдықтарын 50%-ға дейін төмендетті. Топырақтың құрылымын жақсарту және су өткізгіштігін арттыру өсімдіктердің өсуіне оң әсер етті. Ал Пәкістан мен Бразилия елдерінде жүргізілген зерттеулер биокөмірдің 10-25 т/га мөлшерінің тұзды топырақтың экологиялық жағдайын жақсартуға және өсімдік өнімділігін арттыруға ықпал ететінін көрсетті [29].

Әртүрлі зерттеудің нәтижелері көрсеткендей, биокөмірдің тиімділігі көбінесе оның мөлшеріне, топырақтың типіне және тұздану деңгейіне байланысты болып табылады, 20 т/га дейінгі мөлшерде биокөмір топырақтың тұздылығын айтарлықтай төмендетеді және экологиялық жағдайын жақсартады. Сонымен қатар, 15-30 т/га мөлшеріндегі биокөмір топырақтың құрылымын жақсартады, оның ылғал сақтау қабілетін арттырады және өсімдік өсуін ынталандырады.

Биокөмір – экологиялық тұрғыдан маңызды құрал болып табылады, әсіресе топырақтың тұздануы мен ластануы мәселелері бар аймақтарда маңыздылыққа ие. Әлемде жүргізілген зерттеулердің нәтижелері биокөмірдің топырақтың физикалық және химиялық қасиеттерін жақсартуға, өсімдіктердің өсуін ынталандыруға және пестицидтер мен ауыр металдардың концентрациясын төмендетуге ықпал ететінін көрсетеді [30, 31]. Тұзданған топырақта биокөмірдің қолданылуы топырақтың тұздылығын төмендетіп, өсімдіктердің өсуіне оң әсер ететіндігі көптеген зерттеулерде дәлелденген [32, 33]. Осы зерттеулер биокөмірдің топырақтың тұздығына әсерін зерттеп, оның оңтайлы мөлшері 15-30 т/га аралығында болуы оң нәтиже беретінідігін [33, 34] дәлелдеген. Бұдан басқа, биокөмірдің органикалық ластағыштарды, мысалы, пестицидтер мен ауыр металдарды жоюдағы мүмкіндіктері де талқыланған [35].

Биокөмірдің көміртек жинақтау қабілеті оны климаттық өзгерістерге қарсы күрестің маңызды құралы ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Биокөмірдің жоғары топырақта биокөмірдің қосылуы егіншілік өнімділігін арттырады, сонымен қатар топырақтың көміртек қорын сақтауға ықпал етеді [36, 37]. Тұзданған топырақта биокөмірдің әсері бойынша жүргізілген мета-анализдер оның өнімділікті жақсартуда тиімді екенін және топырақтың тұздылығын төмендетуде үлкен рөл атқаратынын көрсетеді [38]. Сондай-ақ, биокөмірдің өндірісі мен қолдануында туындайтын қиындықтар мен мүмкіндіктер де зерттелген. Биокөмірдің әртүрлі мөлшерде енгізілген нұсқалары агротехникалық тиімділікті арттыру мақсатында қолданылуда, бірақ оның ұзақ мерзімді экологиялық әсерлері әлі де толық зерттеулерді қажет етеді [39, 40]. Бұл мәселе бойынша көптеген зерттеушілер биокөмірдің агрономиялық тиімділігін арттыру үшін оның сипаттамаларын жақсартудың және жетілдірудің түрлі жолдарын ұсынады [41, 42].

Қорыта айтқанда, биокөмірдің қолданылуы тек ауыл шаруашылығы өндірісін ғана емес, экологиялық тұрғыдан да тиімді шешім болып табылады. Ол топырақтың химиялық және физикалық қасиеттерін жақсартып, экологиялық жүйелердің тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл зерттеулердің нәтижелері биокөмірдің тиімділігін көрсетіп, оның болашақта экологиялық таза ауыл шаруашылықты дамытудағы маңызды рөлін айқындайды.

Қорытынды

Биокөмір – тұзданудан зардап шеккен және органикалық ластанған топырақты қалпына келтіруге арналған көп функционалды, тұрақты шешім болып табылады. Оның қолданылуы топырақтың қасиеттерін жақсарту, ластаушы заттарды иммобилизациялау және ауыл шаруашылығы өнімділігін арттыруға байланысты түрлі маңызды артықшылықтар ұсынады. Сонымен қатар, биокөмір климаттың өзгеруін азайту және қоршаған ортаны қорғау тұрғысынан да тиімді құрал ретінде қарастырылады. Бұл материалдың топырақтағы су ұстау қабілетін жақсарту, қоректік заттардың ұсталуы мен топырақтың құрылымын жақсартуы нәтижесінде өсімдіктердің өсуін ынталандырады. Сонымен қатар, ол агрономиялық өнімділікті арттырып, топырақтың қоректік балансын қалпына келтіру арқылы ұзақ мерзімді экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етеді.

Қазіргі уақытта биокөмір материалдары бойынша көптеген зерттеулер топыраққа және дақылдарға әсер етуі бойынша нақты сандық нәтижелерді ұсынады, бұл оның тиімділігін дәлелдейді. Мысалы, Қытайдағы сортаңды-сілтілі топырақтарда бидайдың өнімділігі биокөмір қолданғаннан кейін 20%-ға жақсарды, бұл ЕСе және натрий концентрациясының төмендеуімен

қатар жүрді. Бұл нәтижелер биокөмірдің топырақтың тұздануы мен сілтілігімен күресу қабілетін көрсетеді, осылайша егіннің өнімділігін арттырады. Мета-талдаулар бойынша, топырақтағы органикалық көміртегі деңгейі биокөмірді қолдану нәтижесінде 55%-ға артты, ал дақылдардың өнімділігі шамамен 32%-ға көтерілді. Бұл көрсеткіштер биокөмірдің топырақтың құнарлығын қалпына келтірудегі рөлін айқын көрсетеді.

Пәкістанда жүргізілген зерттеулер нәтижесінде көңнен алынған биокөмірдің топырақтың су-тұз балансына және табиғи құнарлығына оң әсер еткендігі байқалды. Бұл биокөмірлер ESP (Exchangeable Sodium Percentage) және SAR (Sodium Adsorption Ratio) деңгейін айтарлықтай төмендетіп, күріштің өнімділігін арттырды. Сонымен қатар, органикалық ластаушыларға қатысты Fe-модифицирленген биокөмірлер пестицидтерді 90%-дан астам жоюға қол жеткізгені көрсетілген, бұл оның ластануды жоюдағы тиімділігін растайды. Мұнай көмірсутектерімен ластанған топырақтарда биокөмір TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) деңгейін 60%-ға дейін төмендетіп, микробтық ферменттердің белсенділігін 45%-ға арттырды. Бұл нәтижелер биокөмірдің органикалық және минералды ластаушыларды тиімді жоюда қолданылатынын көрсетеді.

Сонымен, биокөмір – бұл топырақтың бірнеше қолайсыз факторларын бір уақытта шешуге қабілетті мелиорант. Оның қасиеттері топырақтың құрылымын жақсарту, су, коректік заттар мен микроорганизмдердің белсенділігін арттыру арқылы оның экологиялық жағдайын жақсартуға мүмкіндік береді. Биокөмірдің тұрақты және көп функциялы табиғаты оны ауыл шаруашылығы мен қоршаған ортаны қорғау саласында маңызды биомелиорант болып табылады.

Авторлардың қосқан үлесі

АҚ: зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, биокөмірдің тұзданған, кебірленген және органикалық ластаулы топырақтың физика-химиялық және биологиялық қасиеттеріне әсерін бағалау әдістемесін құру. КБ: тәжірибелік мәліметтерді өңдеу, жинақтау, дақыл өнімділігін бағалау, ЕСе, SAR, ESP және WHC көрсеткіштерін статистикалық қорытындылып, нәтижелерді визуализациялау және мақаланы редакциялау. СК: мақалаға әдеби шолу жасау, деректерді өңдеу, редакциялау, журналға жіберу. АЖ: мақаланың рН, СЕС, СОС мәліметтерін жинау, деректерді жүйелеу және нәтижелерді валидациялау. МТ: сандық және салыстырмалы талдау жүргізу, статистикалық интерпретация жасау және мақаланы редакциялау. СА: топыраққа биокөмірдің әсерін талдау, мақаланы қорытындылау, редакциялау.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеу ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің 2025-2027 жылдарға арналған BR28712925 «Экожүйелерді кешенді жақсарту үшін суық плазма технологияларын зерттеу және құру» жобасы шеңберінде орындалды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Calderon Pincay, J.M., Pincay Cantos, M.F. (2024). Analysis of Soil Salinization as an Environmental Issue in Latin America. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1), 146-152. DOI: 10.12911/22998993/174378.
- 2 Sugimori, Y., Funakawa, Sh., Pachikin, K., Ishida, N. (2008). Soil salinity dynamics in irrigated fields and its effects on paddy-based rotation systems in southern Kazakhstan. *Land Degradation & Development*, 19(3), 305-320. DOI:10.1002/ldr.843.
- 3 Yufeng, He., Xiaojun, Hu. (2022). Remediation of PAHs contaminated industrial soils by hypochlorous acid: performance and mechanisms. *National Library of Medicine*, 12(17), 10825-10834.
- 4 Gabriela, C.I., Denis, T. (2022). Biochar a Promising Strategy for Pesticide-Contaminated Soils. *Agriculture*, 12(10), 1579. DOI:10.3390/agriculture12101579.
- 5 Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., Naidu R. (2018). Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 625, 320-335.

- 6 Mao, T., Wang, Y. (2024). Assessment of the Effects of Biochar on the Physicochemical Properties of Saline–Alkali Soil Based on Meta-Analysis. *Agronomy*, 14(10), 2431. DOI:10.3390/agronomy14102431.
- 7 Alharbi, O., Basheer, A.A. (2018). Health and environmental effects of persistent organic pollutants. *Journal of Molecular Liquids*, 263(90). DOI:10.1016/j.molliq.2018.05.029.
- 8 Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (2nd ed.). Routledge, 1-15.
- 9 Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – A review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 219-230. DOI:10.1007/s00374-002-0466-4.
- 10 Dhir, B. (2021). *Biochar Amendment Improves Crop Production in Problematic Soils*. Handbook of Assisted and Amendment, 189-204. DOI:10.1002/9781119670391.ch10.
- 11 Blenis, N., Hue, N., Tai, MC Maaz., Michael, BK. (2023). Biochar Production, Modification, and Its Uses in Soil Remediation. *Sustainability*, 15(4), 3442.
- 12 Zhang, B., Zhang, L., Zhang, X. (2019). Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by petroleum-degrading bacteria immobilized on biochar. *National Library of Medicine*, 9(60), 35304-35311.
- 13 Jeffery, S., Verheijen, FGA, van der Velde, M., Bastos, AC. (2017). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(2011), 175-187. DOI: 10.1016/j.agee.2011.08.015.
- 14 Xu, H., Cai, A. (2021). Effects of biochar application on crop productivity, soil carbon sequestration, and global warming potential controlled by biochar C:N ratio and soil pH: A global meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 213, 105125. DOI:10.1016/j.still.2021.105125.
- 15 Wang, X., Ding, J., Han, L., Tan, J., Ge, X., Nan, Q. (2024). Biochar addition reduces salinity in salt-affected soils with no impact on soil pH: A meta-analysis. *Geoderma*, 443, 116845. DOI: 10.1016/j.geoderma.2024.116845.
- 16 Wu, B., et al. (2024). The effect of biochar on crop productivity and soil salinity and its dependence on experimental conditions in salt-affected soils: a meta-analysis. *Carbon Research*, 3, 56.
- 17 Zhang Y., Miao S., Song Y., Wang X., Jin F. (2024). Biochar Application Reduces Saline Alkali Stress by Improving Soil Functions and Regulating the Diversity and Abundance of Soil Bacterial Community in Highly Saline–Alkali Paddy Field. *Sustainability*, 16(3), 1001.
- 18 Beljin J., Đukanović N., Anojčić J., Apostolović T., Mutić S., Maletić S. (2024). Biochar in the remediation of organic pollutants in water: A review of PAH and pesticide removal. *Nanomaterials (Basel)*, 15(1), 26. DOI:10.3390/nano15010026.
- 19 Qiu, M., Liu, L., Ling, Q., Cai, Y., Shujun, Y. (2022). Biochar for the removal of contaminants from soil and water: A review. *Biochar*, 4, 19.
- 20 Fakhar, A., Galgo, SJC, Canatoy, RC, Rafique, M., Sarfraz, R., Farooque, AA, Khan, MI. (2025). Advancing modified biochar for sustainable agriculture: A comprehensive review on characterization, analysis, and soil performance. *Biochar*, 7(1), 8.
- 21 Meng, F. (2025). Advancements in biochar for soil remediation of heavy metals and/or organic pollutants. *Materials*, 18(7), 1524.
- 22 Das, N. (2025). Biochar-driven rhizoremediation of soil contaminated with organic pollutants: A review. *Biochar*, 7, 91.
- 23 Jeffery, S., Abalos, D., Spokas, K.A., Verheijen, FGA. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 12(5), 053001.
- 24 Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., Paz-Ferreiro, J. (2013). Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions A meta-analysis of literature data. *Plant and Soil*, 373(1-2), 583-594.
- 25 Zhang, W., Pang, J., Qi, J., Lu, Y. (2025). Biochar's dual impact on soil acidity management and crop yield enhancement in acidic soils: a meta-analysis. *Plant and Soil*, 514, 1849-1865.
- 26 Li, X., Zhang, X., Shi, Z. (2021). Impact of biochar on soil salinity and its role in improving soil structure and plant growth in saline soils. *Journal of Soil Science*, 72(3), 314-325.

- 27 Smith, A., Jones, B., Miller, L. (2020). The effect of biochar on soil pH, pesticide reduction, and plant productivity in saline soils of California. *Soil Science & Environmental Research*, 58(4), 201-213.
- 28 Patel, R., Kumar, S., Sharma, P. (2019). Biochar application in saline soils of Gujarat: A sustainable approach for improving soil fertility and plant growth. *Indian Journal of Soil Science*, 61(5), 510-521.
- 29 Khan, M., Silva, E. (2020). Impact of biochar on improving ecological conditions of saline soils in Pakistan and Brazil. *Journal of Environmental Management*, 74(2), 245-258.
- 30 Calderon Pincay, J.M., Pincay Cantos, M.F. (2024). Analysis of Soil Salinization as an Environmental Issue in Latin America. *J. Ecol. Eng.*, 25(1), 146-152.
- 31 Sugimori, Y., Funakawa, Sh., Pachikin, K. (2008). Soil salinity dynamics in irrigated fields and its effects on paddy-based rotation systems in southern Kazakhstan. *Land Degradation & Development*, 19(3), 305-320.
- 32 Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., Naidu R. (2018). Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 625, 320-335.
- 33 Mao, T., Wang, Y. (2024). Assessment of the Effects of Biochar on the Physicochemical Properties of Saline–Alkali Soil Based on Meta-Analysis. *Agronomy*, 14(10), 2431.
- 34 Gabriela, CI, Denis, T. (2022). Biochar a Promising Strategy for Pesticide-Contaminated Soils. *Agriculture*, 12(10), 1579.
- 35 Blenis, N., Hue, N., Maaz, T.M., Kantar, M. (2023). Biochar Production, Modification, and Its Uses in Soil Remediation. *Sustainability*, 15(4), 3442.
- 36 Xu, H., Cai, A. (2021). Effects of biochar application on crop productivity, soil carbon sequestration, and global warming potential controlled by biochar C:N ratio and soil pH: A global meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 213, 105125. DOI:10.1016/j.still.2021.105125.
- 37 Jeffery, S., Verheijen, FGA., van der Velde, M., Bastos, A.C. (2017). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(2011), 175-187. DOI:10.1016/j.agee.2011.08.015.
- 38 Wu, B., Yang, H., Li, S., Tao, J. (2024). The effect of biochar on crop productivity and soil salinity and its dependence on experimental conditions in salt-affected soils: a meta-analysis. *Carbon Research*, 3(1), 56.
- 39 Wang, N., Wang, B., Wang, H., Wu, P., Hassan, M., Wang, Sh. (2025). Engineered biochar for simultaneous removal of heavy metals and organic pollutants from wastewater: mechanisms, efficiency, and applications. *Biochar X*, 1: e008, 1-17.
- 40 Fakhar, A., Jane, S., Galgo, C., Canatoy, RC, Rafique, M. (2025). Advancing modified biochar for sustainable agriculture: a comprehensive review on characterization, analysis, and soil performance. *Biochar*, 7:8, 2-25.
- 41 Das, N., Pandey, P. (2025). Biochar driven rhizoremediation of soil contaminated with organic pollutants: engineered solutions, microbiome enrichment, and bioeconomic benefits for ecosystem restoration. *Biochar*, 7:101, 2-37.
- 42 Blenis, N., Hue, N., Tai McClellan, M., Michael, K. (2023). Biochar Production, Modification, and Its Uses in Soil Remediation: A Review. *Sustainability*, 15(4), 3442. DOI:10.3390/su15043442.

References

- 1 Calderon Pincay, J.M., Pincay Cantos, M.F. (2024). Analysis of Soil Salinization as an Environmental Issue in Latin America. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1), 146-152. DOI: 10.12911/22998993/174378.
- 2 Sugimori, Y., Funakawa, Sh., Pachikin, K., Ishida, N. (2008). Soil salinity dynamics in irrigated fields and its effects on paddy-based rotation systems in southern Kazakhstan. *Land Degradation & Development*, 19(3), 305-320. DOI:10.1002/ldr.843.
- 3 Yufeng, He., Xiaojun, Hu. (2022). Remediation of PAHs contaminated industrial soils by hypochlorous acid: performance and mechanisms. *National Library of Medicine*, 12(17), 10825-10834.

- 4 Gabriela, C.I., Denis, T. (2022). Biochar a Promising Strategy for Pesticide-Contaminated Soils. *Agriculture*, 12(10), 1579. DOI:10.3390/agriculture12101579.
- 5 Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., Naidu R. (2018). Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 625, 320-335.
- 6 Mao, T., Wang, Y. (2024). Assessment of the Effects of Biochar on the Physicochemical Properties of Saline-Alkali Soil Based on Meta-Analysis. *Agronomy*, 14(10), 2431. DOI:10.3390/agronomy14102431.
- 7 Alharbi, O., Basheer, A.A. (2018). Health and environmental effects of persistent organic pollutants. *Journal of Molecular Liquids*, 263(90). DOI:10.1016/j.molliq.2018.05.029.
- 8 Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (2nd ed.). Routledge, 1-15.
- 9 Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – A review. *Biology and Fertility of Soils*, 35(4), 219-230. DOI:10.1007/s00374-002-0466-4.
- 10 Dhir, B. (2021). *Biochar Amendment Improves Crop Production in Problematic Soils*. Handbook of Assisted and Amendment, 189-204. DOI:10.1002/9781119670391.ch10.
- 11 Blenis, N., Hue, N., Tai, MC Maaz., Michael, BK. (2023). Biochar Production, Modification, and Its Uses in Soil Remediation. *Sustainability*, 15(4), 3442.
- 12 Zhang, B., Zhang, L., Zhang, X. (2019). Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by petroleum-degrading bacteria immobilized on biochar. *National Library of Medicine*, 9(60), 35304-35311.
- 13 Jeffery, S., Verheijen, FGA, van der Velde, M., Bastos, AC. (2017). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(2011), 175-187. DOI: 10.1016/j.agee.2011.08.015.
- 14 Xu, H., Cai, A. (2021). Effects of biochar application on crop productivity, soil carbon sequestration, and global warming potential controlled by biochar C:N ratio and soil pH: A global meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 213, 105125. DOI:10.1016/j.still.2021.105125.
- 15 Wang, X., Ding, J., Han, L., Tan, J., Ge, X., Nan, Q. (2024). Biochar addition reduces salinity in salt-affected soils with no impact on soil pH: A meta-analysis. *Geoderma*, 443, 116845. DOI: 10.1016/j.geoderma.2024.116845.
- 16 Wu, B., et al. (2024). The effect of biochar on crop productivity and soil salinity and its dependence on experimental conditions in salt-affected soils: a meta-analysis. *Carbon Research*, 3, 56.
- 17 Zhang Y., Miao S., Song Y., Wang X., Jin F. (2024). Biochar Application Reduces Saline Alkali Stress by Improving Soil Functions and Regulating the Diversity and Abundance of Soil Bacterial Community in Highly Saline–Alkali Paddy Field. *Sustainability*, 16(3), 1001.
- 18 Beljin J., Đukanović N., Anojčić J., Apostolović T., Mutić S., Maletić S. (2024). Biochar in the remediation of organic pollutants in water: A review of PAH and pesticide removal. *Nanomaterials (Basel)*, 15(1), 26. DOI:10.3390/nano15010026.
- 19 Qiu, M., Liu, L., Ling, Q., Cai, Y., Shujun, Y. (2022). Biochar for the removal of contaminants from soil and water: A review. *Biochar*, 4, 19.
- 20 Fakhar, A., Galgo, SJC, Canatoy, RC, Rafique, M., Sarfraz, R., Farooque, AA, Khan, MI. (2025). Advancing modified biochar for sustainable agriculture: A comprehensive review on characterization, analysis, and soil performance. *Biochar*, 7(1), 8.
- 21 Meng, F. (2025). Advancements in biochar for soil remediation of heavy metals and/or organic pollutants. *Materials*, 18(7), 1524.
- 22 Das, N. (2025). Biochar-driven rhizoremediation of soil contaminated with organic pollutants: A review. *Biochar*, 7, 91.
- 23 Jeffery, S., Abalos, D., Spokas, K.A., Verheijen, FGA. (2017). Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 12(5), 053001.
- 24 Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., Paz-Ferreiro, J. (2013). Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions A meta-analysis of literature data. *Plant and Soil*, 373(1-2), 583-594.

- 25 Zhang, W., Pang, J., Qi, J., Lu, Y. (2025). Biochar's dual impact on soil acidity management and crop yield enhancement in acidic soils: a meta-analysis. *Plant and Soil*, 514, 1849-1865.
- 26 Li, X., Zhang, X., Shi, Z. (2021). Impact of biochar on soil salinity and its role in improving soil structure and plant growth in saline soils. *Journal of Soil Science*, 72(3), 314-325.
- 27 Smith, A., Jones, B., Miller, L. (2020). The effect of biochar on soil pH, pesticide reduction, and plant productivity in saline soils of California. *Soil Science & Environmental Research*, 58(4), 201-213.
- 28 Patel, R., Kumar, S., Sharma, P. (2019). Biochar application in saline soils of Gujarat: A sustainable approach for improving soil fertility and plant growth. *Indian Journal of Soil Science*, 61(5), 510-521.
- 29 Khan, M., Silva, E. (2020). Impact of biochar on improving ecological conditions of saline soils in Pakistan and Brazil. *Journal of Environmental Management*, 74(2), 245-258.
- 30 Jose Manuel Calderon Pincay., Maria Fernanda Pincay Cantos. (2024). Analysis of Soil Salinization as an Environmental Issue in Latin America. *J. Ecol. Eng.*, 25(1), 146-152.
- 31 Sugimori, Y., Funakawa, Sh., Pachikin, K. (2008). Soil salinity dynamics in irrigated fields and its effects on paddy-based rotation systems in southern Kazakhstan. *Land Degradation & Development*, 19(3), 305-320.
- 32 Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., Naidu R. (2018). Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 625, 320-335.
- 33 Mao, T., Wang, Y. (2024). Assessment of the Effects of Biochar on the Physicochemical Properties of Saline–Alkali Soil Based on Meta-Analysis. *Agronomy*, 14(10), 2431.
- 34 Gabriela, C.I., Denis, T. (2022). Biochar a Promising Strategy for Pesticide-Contaminated Soils. *Agriculture*, 12(10), 1579.
- 35 Blenis, N., Hue, N., Maaz, T.M., Kantar, M. (2023). Biochar Production, Modification, and Its Uses in Soil Remediation. *Sustainability*, 15(4), 3442.
- 36 Xu, H., Cai, A. (2021). Effects of biochar application on crop productivity, soil carbon sequestration, and global warming potential controlled by biochar C:N ratio and soil pH: A global meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 213, 105125. DOI:10.1016/j.still.2021.105125.
- 37 Jeffery, S., Verheijen, FGA., van der Velde, M., Bastos, A.C. (2017). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(2011), 175-187. DOI:10.1016/j.agee.2011.08.015.
- 38 Wu, B., Yang, H., Li, S., Tao, J. (2024). The effect of biochar on crop productivity and soil salinity and its dependence on experimental conditions in salt-affected soils: a meta-analysis. *Carbon Research*, 3(1), 56.
- 39 Wang, N., Wang, B., Wang, H., Wu, P., Hassan, M., Wang, Sh. (2025). Engineered biochar for simultaneous removal of heavy metals and organic pollutants from wastewater: mechanisms, efficiency, and applications. *Biochar X*, 1: e008, 1-17.
- 40 Fakhar, A., Jane, S., Galgo, C., Canatoy, RC, Rafique, M. (2025). Advancing modified biochar for sustainable agriculture: a comprehensive review on characterization, analysis, and soil performance. *Biochar*, 7:8, 2-25.
- 41 Das, N., Pandey, P. (2025). Biochar driven rhizoremediation of soil contaminated with organic pollutants: engineered solutions, microbiome enrichment, and bioeconomic benefits for ecosystem restoration. *Biochar*, 7:101, 2-37.
- 42 Blenis, N., Hue, N., Tai McClellan, M., Michael, K. (2023). Biochar Production, Modification, and Its Uses in Soil Remediation: A Review. *Sustainability*, 15(4), 3442. DOI:10.3390/su15043442.

Роль биоугля в восстановлении засоленных и органически загрязнённых почв, подвергшихся экологической деградации

Казез А., Бексейтова К., Жаппарова А.А., Кенжегулова С.О., Токтар М., Азат С.

Аннотация

Предпосылки и цель. Этот обзорный статья направлен на оценку влияния биоугля на физико-химические и биологические свойства засоленных, солончаковых и органически загрязнённых почв, а также на роль биоугля в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Целью является определение путей улучшения состояния почвы с использованием биоугля, повышения нейтрализации загрязняющих веществ и эффективного увеличения сельскохозяйственной продуктивности.

Материалы и методы. На основе данных литературного обзора проведены сравнительные исследования по методам пиролиза биоугля из различных исходных материалов (дерево, лигноцеллюлоза, навоз) при температуре 450-600 °С, а также по функционализации некоторых образцов добавками Fe или O/N и дозированию биоугля в почву (1-40 т/га). Кроме того, проведены количественные и сравнительные анализы данных по рН почвы, электропроводности (ЕСе), натриевым индексам (SAR, ESP), водоудерживающей способности (WHC), обменной способности катионов (СЕС), органическому углероду (SOC), эффективности удаления загрязняющих веществ и урожайности культур.

Результаты. Применение биоугля привело к снижению ЕСе в засоленных почвах на 7-30% и увеличению урожайности на 20-32%. В солонцеватых почвах показатель ESP снизился на 15-25%, а SAR – примерно на 20%. В условиях органического загрязнения эффективность удаления ПАУ и пестицидов достигала 70-90%, тогда как содержание нефтяных углеводородов снижалось на 30-70%. Биоуголь способствовал улучшению структуры почвы и активизации микробиологической деятельности. Функционализированные биоугли проявили повышенные сорбционные и каталитические свойства, при этом норма и глубина внесения оказались ключевыми факторами эффективности.

Закключение. Полученные результаты показывают, что биоуголь является многофункциональным и устойчивым средством восстановления почв. Он способствует регулированию засоленности и щёлочности, иммобилизации органических загрязнителей и повышению продуктивности сельскохозяйственных культур. Исследование подтверждает эффективность стандартизированных методов применения биоугля и подчёркивает его значимую роль в устойчивом сельском хозяйстве и экологическом восстановлении.

Ключевые слова: биоуголь; засоление; пестициды; нефтяные углеводороды; ремедиация; почва.

The role of biochar in the restoration of salinized and organically contaminated soils subjected to ecological degradation

Altynbek Kazez, Kalampyr Bekseitova, Aigul A. Zhapparova, Sayagul O. Kenzhegulova
Murat Toktar, Seitkhan Azat

Abstract

Background and Aim. This review article aims to evaluate the impact of biochar on the physico-chemical and biological properties of salinized, sodic, and organically contaminated soils, as well as its role in improving crop productivity. The goal is to identify ways to enhance soil conditions through the use of biochar, increase the neutralization of pollutants, and effectively boost agricultural productivity.

Materials and Methods. Based on the data from the literature review, comparative studies were conducted on the pyrolysis methods of biochar from various feedstocks (wood, lignocellulose, manure) at temperatures of 450-600 °С, as well as the functionalization of some samples with Fe or O/N additives and the application rates of biochar to soil (1-40 t/ha). Additionally, quantitative and comparative

analyses were performed on soil pH, electrical conductivity (ECe), sodium indices (SAR, ESP), water holding capacity (WHC), cation exchange capacity (CEC), soil organic carbon (SOC), pollutant removal efficiency, and crop yield data.

Results. The biochar has been shown to reduce electrical conductivity (ECe) in saline soils by 7-30% and increase crop productivity by 20-32%. In sodic soils, ESP decreased by 15-25% and SAR by approximately 20%. In soils contaminated with organic pollutants, removal efficiencies of PAHs and pesticides reached 70-90%, while petroleum hydrocarbons were reduced by 30-70%. Biochar improved soil structure and enhanced microbial activity. Functionalized biochars demonstrated improved sorption and catalytic properties, while application rate and incorporation depth were identified as key factors influencing effectiveness.

Conclusion. The findings indicate that biochar is a multifunctional and sustainable tool for soil remediation. It regulates salinity and alkalinity, immobilizes organic contaminants, and enhances crop productivity. The results confirm the effectiveness of standardized biochar application methods and highlight its important role in sustainable agriculture and environmental restoration.

Keywords: biochar; salinity; pesticides; petroleum hydrocarbons; remediation; soils.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - P.213-229. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/ 10.51452/eaj.2026.1(129).2156

ЭОЖ 631.4:546.296:504.5:556.3

Шолу мақаласы

Торийдің агроэкожүйелердегі рөлі: түсу көздері, «топырақ-су» жүйесіндегі миграциясы және тәуекелдерді төмендетудің сорбциялық тәсілдері

Ғұбайдуллин Н.Н.¹, Алсар Ж.Т.², Гаджимурадова А.М.¹, Исмуканова Г.Ж.¹
Инсепов З.А.^{1,3}, Мансуров З.А.⁴

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

²ЧУ Nazarbayev University Research Administration, Nazarbayev University, Астана, Қазақстан

³Ядролық инженерия мектебі, Purdue University, West Lafayette, АҚШ

⁴Жану мәселелері институты, Алматы, Қазақстан

Корреспондент-автор: Исмуканова Г.: zh.ismukanova@gmail.com

Бірлескен авторлар: (1: HF) nur-tai.kz@mail.ru; (2: ЖА) zhanna.alsar@nu.edu.kz

(3: АГ) aisarat.gajimuradova@nu.edu.kz; (4: ЗИ) z.insepov@nu.edu.kz

(5: ЗМ) zmansurov@kaznu.kz

Қабылданған күні: 24.02.2026 **Қабылданды:** 18.03.2026 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Торий (Th) Th-232 негізіндегі отын циклдерімен байланысты стратегиялық элемент ретінде қарастырылғанымен, техногендік көздер арқылы су мен топыраққа түскен жағдайда агроэкожүйелер үшін ұзақ мерзімді экологиялық және санитарлық тәуекелдер тудыруы мүмкін. Осы шолудың мақсаты — агроландшафттардағы торийдің түсу жолдары мен «топырақ-су» жүйесіндегі миграциясын айқындайтын факторларды жүйелеу, сондай-ақ тәуекелдерді төмендетуге бағытталған сорбциялық және кешенді ремедиациялық шешімдерді жинақтау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу құрылымдалған аналитикалық шолу ретінде жүргізілді. Әдебиеттер Scopus, Web of Science, ScienceDirect және Google Scholar дерекқорларынан іріктеліп, 1990-2025 жж. жарияланымдар қамтылды. Іздеу Th(IV), торий геохимиясы, «топырақ-су» жүйесіндегі миграция, кешен түзілу және сорбция/ремедиацияға қатысты терминдер бойынша жүргізілді. Экологиялық мазмұны бар рецензияланған дереккөздер ғана енгізіліп, тек энергетикалық-инженерлік бағыттағы жұмыстар алып тасталды.

Нәтижелер. Торий су ортасында көбіне бөлшектік және коллоидтық фракциялармен байланысады, ал оның қозғалғыштығы рН, еріген органикалық заттар (DOC) және карбонаттылыққа тәуелді. DOC пен карбонаттылық еритін кешендердің түзілуін арттырып, коллоидтарды тұрақтандырып, торийдің дренаждық және жер асты суларына тасымалдануын күшейте алады. Агроландшафттарда торийдің мобилизациясы қышқыл органика, қалқыма бөлшектердің болуы және маусымдық гидрохимиялық ауытқулармен байланысты. Тәуекелді төмендету үшін коагуляция, мембраналық үдерістер, ионалмасу және адсорбция қарастырылады, ал қолданбалы тұрғыдан диатомит, бентонит, биосорбенттер және композиттер перспективалы. Сорбенттер шартты түрде минералдық және табиғи, биокөмірлі, сондай-ақ жоғары селективті функционалдық материалдар болып жіктеледі.

Қорытынды. Агроэкожүйелерде торийге байланысты тәуекелдерді азайту рН, DOC, тұздану және қалқыма бөлшектер бойынша мониторингті сорбция және иммобилизация шараларымен ұштастыруға негізделеді. Су үшін тиімді тәсіл – алдын ала коагуляциялау мен тұндырудан кейін сорбциялық қосымша тазарту (ал қажет болған жағдайда ионалмасу немесе мембраналық

үдерістерді қолдану). Топырақта басым бағыт – торийді үстіңгі қабатта бекітетін барьерлік қоспаларды (табиғи сорбенттер, биокөмір, Fe-оксидтер, фосфаттарды) пайдалану. Сонымен қатар, екінші реттік қалдықтарды қауіпсіз басқару міндетті.

Кілт сөздер: торий (Th^{4+}); радионуклидтер; торийдің геохимиясы; сорбция; су мен топырақты тазарту; экологиялық қауіпсіздік.

Кіріспе

Соңғы онжылдықта торий тек перспективалы отын циклдерінің ықтимал құрамдас бөлігі ретінде ғана емес, сонымен қатар табиғи зат айналымдарына тартылған жағдайда ұзақ мерзімді экологиялық тәуекелдер қалыптастыра алатын элемент ретінде де назар аудартуда [1]. Торийге қатысты ғылыми-технологиялық қызығушылықтың артуы зерттеулердің, жобалардың және инфрақұрылымның кеңеюімен қатар жүреді, бұл табиғи және шаруашылық мақсатта пайдаланылатын аумақтар, соның ішінде ауылшаруашылығы ландшафттары үшін ықтимал салдарларды бағалаудың өзектілігін күшейтеді [2-6].

Агроэкожүйелерде торий, ең алдымен, топырақсу жүйесіне табиғи және антропогендік көздерден түсетін ілеспе радионуклид ретінде қарастырылады. Табиғи жағдайда Th(IV) қосылыстары, әдетте, төмен қозғалғыштықпен сипатталады, алайда ортадағы гидрохимиялық параметрлердің, әсіресе рН, минералдану деңгейі және кешен түзуші заттардың құрамы өзгерген кезде торий еритін және коллоидтық тұрғыдан анағұрлым қозғалмалы формаларға ауысып, оның беткейлік ағынмен және инфильтрация арқылы тасымалдану ықтималдығын арттыруы мүмкін [7]. Далалық бақылаулар мен өңірлік зерттеулер қоршаған ортаның әртүрлі компоненттерінде торийдің бар екенін көрсеткенімен, су жиналу алабы және агроландшафт деңгейіндегі жүйелі бағалаулар әлі де шектеулі [8, 10]. Ауыл шаруашылығы үшін торийдің антропогендік түсу арналары ерекше мәнге ие; олардың ішінде сирекжер элементтері кендерін өндіру және өңдеу, металлургиялық үдерістер, сондай-ақ ұзақ мерзімді қолдану барысында топырақ жамылғысына қоспа радионуклидтерді енгізуі мүмкін фосфатты тыңайтқыштарды пайдалану атап көрсетіледі [11]. Жергілікті техногендік жүктемелердің қалыптасуына уранды ториймен алмастыруға және тиісті технологияларды дамытуға байланысты бағдарламалар мен тәжірибелер де қосымша үлес қосуы мүмкін [12].

Агроэкожүйелер үшін тәуекелдерді төмендету топырақсу жүйесінде торийдің миграция механизмдерін және оның бекітілуін немесе қайта мобилизациялануын айқындайтын факторларды түсінуді, сондай-ақ оның қозғалмалы формаларын басқарудың қолжетімді әдістерін әзірлеуді талап етеді. Осы тұрғыда табиғи материалдарды және олардың модификацияларын қолданатын сорбциялық тәсілдер ағынды және дренаж суының тазалануы, сондай-ақ топырақта торийді иммобилизациялау үшін практикалық қызығушылық тудырады. Осы шолу агроландшафттарға торийдің түсу көздерін, оның топырақсу жүйесіндегі мінез-құлқының негізгі заңдылықтарын және экологиялық әрі санитарлық тәуекелдерді азайтуға бағытталған сорбциялық шешімдерді жүйелейді [13].

Материалдар мен әдістер

Зерттеу торийдің экологиялық мінез-құлқын және су мен топырақ жүйелерінде радиациялық тәуекелдерді төмендету тәсілдерін қарастыратын құрылымдалған аналитикалық шолу форматында орындалды. Әдебиеттерді іздеу Scopus, Web of Science, ScienceDirect және Google Scholar дерекқорларында жүргізілді; талдау 1990-2025 жылдар аралығында жарияланған еңбектерді қамтыды. Іздеу сұраулары Th(IV) , торийдің геохимиясы мен изотоптары, радиоэкология, «топырақсу» жүйесіндегі миграция, гидролиз және кешен түзу үдерістері, сондай-ақ сорбция және ремедиация (диатомит, бентонит, биосорбенттер, наноматериалдар) бойынша терминдердің әртүрлі комбинацияларынан тұрды [14].

Шолуға торийдің түсу көздері, оның суда және топырақта болатын түрлері, сондай-ақ Th(IV) -ті иммобилизациялау немесе жою әдістері туралы деректер келтірілген рецензияланған мақалалар, шолулар, монографиялар және халықаралық ұйымдардың есептері енгізілді.

Экологиялық контексті жоқ, тек торий энергетикасының инженерлік аспектілеріне арналған жұмыстар талдаудан шығарылды [15].

Тандалған дереккөздерден су жүйелеріндегі Th(IV) түрлері, топырақтағы қозғалғыштық факторлары және сорбция механизмдері туралы мәліметтер алынды. Ақпарат тақырыптық блоктар бойынша жүйеленіп, қажет болған жағдайда жинақтаушы кестелер түрінде ұсынылды. Нәтижелер нарративті синтез әдісімен қорытындыланды; зерттеулердің әдістемелері мен жағдайларының айтарлықтай әркелкі болуына байланысты мета-талдау жүргізілген жоқ.

Нәтижелер және талқылау

Торийдің жаһандық таралуы және геохимиясы

Торий (Th) табиғи актиноидтарға ($Z = 90$) жатады және табиғи радиоактивтілігі салыстырмалы түрде әлсіз элемент болып сипатталады. Элемент 1828 жылы *Й.Я. Берцелиус* тарапынан анықталған. Литосферада торий кең таралған және литофильді элементтер қатарына кіреді, сондықтан ол негізінен жердің силикатты қабығында жинақталады. Құрлықтық қыртыс үшін оның орташа мөлшері шамамен 610 ppm (мг/кг) деңгейінде бағаланады, яғни торий орта есеппен уранға қарағанда жиірек кездеседі. Топырақта да типтік фондық мәндер әдетте бірліктерден ондаған ppm аралығында болады және аналық жыныстардың құрамына, сондай-ақ гранулометриялық (механикалық) құрамына байланысты айтарлықтай өзгереді. Осындай кең таралуына қарамастан, торийдің геохимиясы, миграциясы және биологиялық әсерлері бойынша жарияланымдар массиві уранға қарағанда едәуір аз; бұл тарихи тұрғыдан уранның қолданбалы рөлінің ертерек әрі ауқымды қалыптасуымен байланысты [16].

Уранмен салыстыру радиоэкология және қолданбалы міндеттер үшін маңызды, өйткені екі элемент те табиғи ортада кездеседі және техногендік миграция үдерістеріне тартылуы мүмкін. Алайда уран ядролық отын циклының негізгі элементі болып қала береді, ал атом энергетикасы жаһандық электр энергиясын өндірудің шамамен 910% қамтамасыз етеді; әлемдік реакторлық парк жыл сайын табиғи уранның шамамен 67 мың тн (U-ға шаққанда) қажет етеді. Бұл су мен топырақтағы миграцияны бағалау, мониторинг және тазарту технологияларын қоса алғанда, уран тақырыбы бойынша зерттеулер көлемінің жоғары болуын қолдайды [17].

Соңғы жылдары торийге қызығушылық тек энергетикалық контекстпен шектелмей, оның биогеохимиялық үдерістерге қатысуы және (шектеулі дәрежеде болса да) «топырақөсімдік» тізбегі бойынша тасымалдану мүмкіндігі тұрғысынан да кеңейуде. Агроэкожүйелер үшін торийдің табиғи су мен топырақта, әдетте, төмен қозғалғыш екені принципті: тотығу жағдайларында Th(IV) басым болады, оған күшті гидролиз, оксидті-гидроксидті формалардың төмен ерігіштігі және саз минералдарына, FeMn оксидтеріне және органикалық затқа жоғары сорбциялық бейімділік тән. Сондықтан торийдің елеулі бөлігі «шын мәніндегі» еріген күйде емес, керісінше қалқыма бөлшектер мен коллоидтар құрамында миграциялап, дондық шөгінділерде және топырақ горизонттарында жинақталады; оның қозғалғыштығы рН өзгергенде және кешен түзілуі күшейгенде (кейбір бейорганикалық лигандтармен және еріген органикалық заттармен қоса) артуы мүмкін [18].

Жоғары зарядталған литофильді элемент ретінде торий геохимиялық мінез-құлқы бойынша жоғары өрістік элементтерге және сирекжер элементтерінің бірқатарына жақын, бұл оның тұрақты минерал-тасымалдаушылармен және техногендік концентраттармен «байланыстылығын» көрсетеді. Қазіргі шолулар торий минералдануының сирекжер жүйелерімен байланысын және фосфатты минералдардың тұрақты кристал торларында Th-тың сақталуын атап өтеді; бұл сирекжер элементтері (СЖЭ) шикізатын өндіру және өңдеу кезінде торийдің қоршаған ортаға түсу көздерін түсіндіру үшін маңызды [19].

Халықаралық және салалық жинақталған деректерге сәйкес, торийдің әлемдік анықталған және бағаланған жиынтық ресурстары шамамен 66,3 млн т деңгейінде. Жарияланған бағалауларда ең ірі көлемдер Үндістанға тиесілі, сондай-ақ Бразилия, Австралия, АҚШ және бірқатар басқа елдер үшін де елеулі ресурстар көрсетіледі (1-сурет). Қолданбалы экология және

ауылшаруашылығы ғылымдары тұрғысынан бұл мәліметтер «шикізат базасы» ретінде ғана емес, торийқұрамды концентраттарды өндіру және өңдеумен байланысты ықтимал техногендік жүктеме аймақтарының индикаторы ретінде маңызды.

Торийдің негізгі минерал-тасымалдаушылары, ең алдымен, монацитпен және (сирекжер элементтері кендерінің бірқатарында) бастнезитпен ұсынылады; торийдің меншікті минералдары қатарында торит те жиі аталады. Практикада торийдің техногендік миграциясына ең типтік «тасымалдаушы» ретінде монацит қарастырылады, өйткені ол ауыр минералды құмдарда (плейсерлерде) кең таралған және сирекжер элементтерін өндіруге арналған шикізат ретінде өңделеді. Механикалық байыту және одан кейінгі гидрометаллургиялық операциялар кезінде (сілтілік ыдырату немесе қышқылдық шаймалау, фракцияларды бөлу) торий қалдықтарға, шламдарға және ағынды суларға өтіп, жергілікті ластану ошақтарын қалыптастыруы мүмкін [20-22].

Монацит жалпы формуласы (Ce, La, Nd, Th)PO₄-ке жақын сирекжер элементтерінің фосфаты; ол жоғары тығыздықпен (шамамен 4,65,7 г/см³) және Моос шкаласы бойынша 55,5 қаттылықпен сипатталады. Монациттегі торий мөлшері генезисі мен кен орнына байланысты кең ауқымда өзгереді; қолданбалы зерттеулерде ThO₂-тің типтік аралығы жиі 510% ретінде келтіріледі, алайда бұл көрсеткіш бірнеше пайыздан ондаған пайызға дейін ауытқуы мүмкін. Монациттің әлемдік ресурстары жөніндегі бағалаулар шамамен 16 млн т деңгейіне дейін жетеді, ал ауыр минералды құмның едәуір бөлігі Үндістанның оңтүстігі мен шығысында шоғырланған. Бұл деректер шолудың экологиялық бөлімі үшін маңызды, өйткені монацитті өндіру және өңдеу торийдің су және топырақ жүйелеріне, соның ішінде техногендік ықпал аймақтарындағы агроландшафттарға түсуіне алғышарттар қалыптастырады [23].

Торийдің изотоптық құрамы және экологиясы

Табиғи торий ұзақ уақыт бойы «мононуклидті» элемент ретінде қарастырылып, іс жүзінде ²³²Th изотопымен теңестірілді. Алайда IUPAC/Изотоптық құрамдар мен атомдық салмақтар жөніндегі комиссияның (CIAAW) ұсынымдарында көрініс тапқан изотоптық деректерді қайта қарау нәтижесінде торий үшін табиғи ортада екіизотопты құрамды ажыратуға болатыны көрсетілді: ²³²Th-пен (≈0,9998) қатар табиғи жүйелерде ²³⁰Th-тың да аз үлесі (≈0,0002) тіркеледі. Бұл жағдай торийдің стандартты атомдық салмағын нақтылауға және оның абсолютті «моноизотоптылығы» туралы қатаң түсініктен бас тартуға негіз болды [24-28].

Ядролық физика және радиохимия тұрғысынан торий үшін ондаған радиоизотоп сипатталған (олардың параметрлері халықаралық ядролық деректер базаларында келтірілген). Дегенмен табиғи және агроэкологиялық жүйелерде практикалық маңызы бары санаулы ғана: олар не бастапқы (ұзақ өмір сүретін) нуклидтер, не уран/торийдің ыдырауынан үздіксіз «қоректеніп», сондықтан өлшенетін мөлшерде болатын радионуклидтер [29].

Табиғи түрде кездесетін (немесе тұрақты түрде түзілетін) торий радионуклидтері үш классикалық ыдырау қатарына бөлінеді, бұл топырақ, су және дондық шөгінділердің фондық радиоактивтілігін түсіндіру үшін маңызды [30]:

²³⁸U қатары: ²³⁴Th (T_{1/2} = 24,10 тәулік) және ²³⁰Th (T_{1/2} = 7,538×10⁴ жыл) түзілуі;

²³²Th қатары: бастапқы ²³²Th (T_{1/2} = 1,405×10¹⁰ жыл) және тізбек бойынша түзілетін ²²⁸Th (T_{1/2} = 1,9116 жыл);

²³⁵U қатары: іздік өнімдер ²³¹Th (T_{1/2} = 25,52 сағ) және ²²⁷Th (T_{1/2} = 18,72 тәулік).

Ұзақ мерзімді геоэкология үшін шешуші нуклид – ²³²Th: оның өте ұзақ жартылай ыдырау кезеңі (шамамен 14 млрд жыл) геологиялық тұрақтылықты және литосферада, топырақта әрі олармен байланысты гидросферада тұрақты түрде болуын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар дәл осы «ұзақ өмір сүретін» ²³²Th еншілес нуклидтердің түзілуін қолдап, олардың кейбір жағдайларда (әсіресе ұсақдисперсті фракциялар мен шөгінділерде жиналғанда) жергілікті деңгейде жоғары белсенділік қалыптастыруына ықпал етеді [31].

Энергетикалық контексте ²³²Th-тың құнарлы (fertile) нуклид екені маңызды: нейтронды жұтқанда ол бірізді түрде ²³³Th → ²³³Pa → ²³³U түрленеді, ал ²³³U бөлінгіш (fissile) материалдарға жатады. Бұл жола аграрлық тақырыппен тікелей байланысты болмаса да, торийге қызығушылықтың

артуын және соған сәйкес экологиялық тәуекелдерді бағалаудың өзектілігін түсіндіреді [32-35].

Торийдің экологиялық маңыздылығы ^{232}Th -тың болуымен ғана шектелмейді; өлшенетін белсенділік пен дозалық жүктемені нақты қандай қыз нуклидтер қалыптастыратыны да шешуші рөлятқарады. Ұзақ өмір сүретін изотоптар (ең алдымен ^{232}Th және ^{230}Th) салыстырмалы түрде төмен меншікті белсенділікке ие болғанымен, ұзақ мерзімді «фонды» анықтайды және геологиялық әрі шөгінділік резервуарларда жинақталады. Мысалы, ^{230}Th уранторийлік геохронологияда кең қолданылады (карбонаттарда және шөгінділерде жинақталуы), сонымен бірге ол биогеохимиялық айналымдарға тартылып, ұсақ бөлшектермен бірге тасымалдануы мүмкін [36].

Қысқа өмір сүретін изотоптар (^{234}Th , ^{228}Th , сондай-ақ іздік ^{231}Th және ^{227}Th) масса бірлігіне шаққанда жоғары белсенділікпен ерекшеленеді және ыдырау мен тасымалдың ағымдағы үдерістерінің индикаторлары ретінде маңызды. Топырақ ең табиғи судың радиоэкологиялық мониторингінде көбіне Th-тың өзін тікелей өлшеуге емес, ^{232}Th тізбегіндегі секулярлық тепе-теңдік бар деген болжаммен оның қыз өнімдерінің γ -сызықтарына (мысалы, ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{208}Tl) сүйенеді. Бұл ретте ^{220}Rn (торон) бөлінуі тепе-теңдікті бұзып, әсіресе топырақтың беткі горизонттары мен әлсіз тығыздалған материалдар үшін нәтижелерді түсіндіруге әсер етуі мүмкін екенін ескеру қажет [37-39].

Осылайша, ^{232}Th торийдің биосферада тұрақты түрде болуын қамтамасыз етеді, ал еншілес және радиогендік изотоптар (және олардың ыдырау өнімдері) «топырақ-су-түбіндегі шөгінділер» жүйесінде жергілікті жоғары белсенділік «дақтарын» қалыптастыруы мүмкін. Агроэкожүйелер үшін бұл Th-тың жалпы мөлшерін ғана емес, белсенділіктің қатты фаза, коллоидтық фракция және ерітінді арасында қайта бөлінуін айқындайтын жағдайларды да ескеруді, сондай-ақ аналитикалық тәсілді дұрыс таңдауды (еншілес нуклидтер бойынша γ -спектрометрия vs торийдің өзін радиохимиялық әдістермен/ICP-MS арқылы анықтау) талап етеді [40].

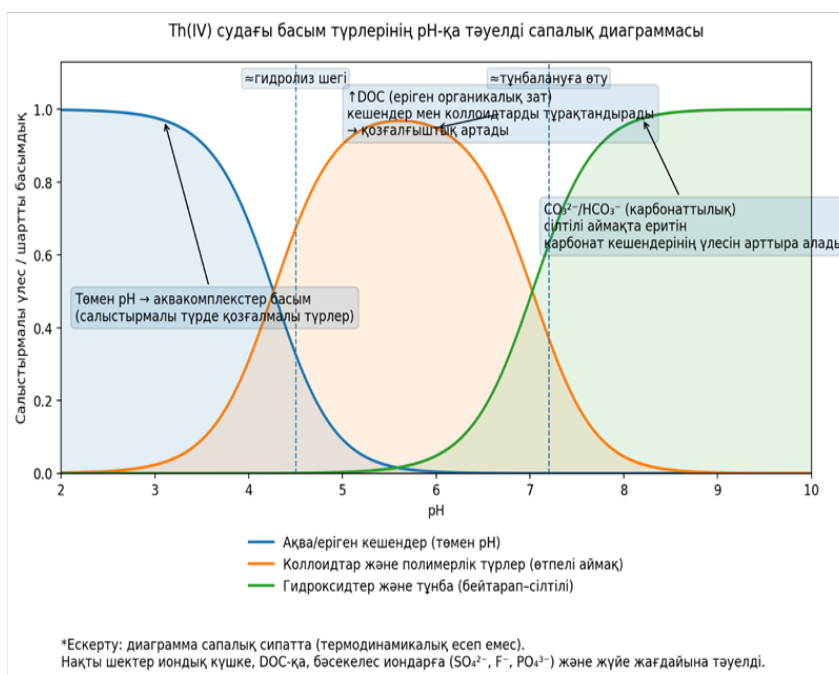
Судағы торийдің экологиясы

Табиғи суда торий дерлік толықтай +4 тотығу дәрежесінде болады және гидролизге айқын бейімділігі бар жоғары зарядталған катион ретінде әрекет етеді. Әлсіз қышқыл рН мәндерінің өзінде гидроксоформалар мен көпядролы бөлшектер түзіледі, ал рН шамамен 5-тен жоғары болғанда еріген Th(IV) тез арада нашар еритін гидроксидтік және гидратталған оксидтік фазаларға ауысып, қалқыма бөлшектерге сорбцияланады; бұл оның «нағыз еріген» үлесін күрт шектейді [41-45].

Термодинамикалық тұрғыдан ThO₂ ең тұрақты қатты форма болып саналады, алайда су ортасында торийдің қозғалғыштығы мен биожетімділігі «минералдың» өзімен емес, мономерлі гидроксокешендердің, көпядролы түрлердің және ішкісфералық коллоидтардың арақатынасымен көбірек анықталады. Тәжірибелік деректер Th(IV)-тің коллоидтық формалары шамамен 3,5 < рН < 5 аралығында және бейтарапсілтілі жағдайларда да, әсіресе иондық күш пен ерітінді құрамының өзгеруі кезінде, тасымалға елеулі үлес қоса алатынын көрсетеді [46].

Тұщы және теңіз суы үшін торийдің жоғары «бөлшекке-реактивтілігі» тән. Мұхитта еріген Th әдетте бөлшектерге бекітіліп, қалқыма затпен бірге су бағанынан шығарылып, шөгінді жиналу арқылы жойылады; сондықтан еріген торийдің концентрациясы өте төмен және көбіне іздік деңгейде талқыланады. Бұл қасиет торий изотоптарын бөлшектердің тасымалы мен тұну үдерістерінің трассерлері ретінде кеңінен қолданудың негізін құрайды [47].

Тұщы су жүйелерінде де көрініс ұқсас, бірақ лайлылықтың, минералданудың және органикалық зат мөлшерінің әртүрлілігіне байланысты вариабельділік жоғары болады.



1-сурет – Су ортасында Th(IV) формаларының рН бойынша шартты доминанттылық диаграммасы

Агроэкожүйелер үшін торийдің қозғалғыштығы арта алатын жағдайларды нақты түсіну аса маңызды. Судағы еріген органикалық заттар (DOC) және карбонаттылық торийдің еріген кешендерінің үлесін көбейтіп қана қоймай, коллоидтарды тұрақтандыруы мүмкін; соның нәтижесінде торийдің дренаждық желі бойымен, сондай-ақ жер асты суына көшуі (миграциясы) күшейеді. Ұқсас әсер қышқылды ағындылар түскен кезде және су араласу аймақтарында рН өзгергенде байқалуы ықтимал [48].

Осыған байланысты ауылшаруашылығы ландшафттарында торийдің мобилизациясын күшейтетін негізгі триггерлер ретінде «қышқылдық–органика–қалқыма бөлшектер» (лайлық/суспензия) факторларының үйлесуі, гидрохимиялық жағдайлардың маусымдық ауытқуы, сондай-ақ техногендік судың нүктелік түсуі қарастырылады.

Биологиялық әсерлер тұрғысынан торий төмен ерігіштігіне байланысты көбіне биожетімділігі төмен элемент деп есептеледі. Алайда жергілікті деңгейде концентрацияның артуы және ортада бөлшектер мен коллоидтардың болуы бұл жағдайды түбегейлі өзгерте алады. Тәжірибелік зерттеулер торийдің ThO_2 бөлшектері түрінде гидробионттарға уытты әсер етуі және су экожүйелеріндегі қауымдастықтардың қызметін өзгертуі мүмкін екенін көрсетеді. Мысалы, *Daphnia magna* үшін торий негізінен бөлшек тәрізді ThO_2 күйінде болған экспозиция жағдайында жедел және созылмалы әсерлер сипатталған [49-51].

Микроббалдыр қауымдастықтарында құрылымдық ығысулар және әртүрліліктің төмендеуі төмен наномолярлық деңгейлерде-ақ байқалған; ал торийдің қоршаған ортаға түсу көздері қатарында сирекжер шикізатын өндіру және фосфатты тыңайтқыштарды қолдану да аталады. Жасыл балдырларда ThO_2 нанобөлшектері әсерінен (әсіресе жоғары концентрацияларда) өсу қарқынының бұзылуы, фотосинтетикалық көрсеткіштердің төмендеуі және тотығу стрессінің күшеюі тіркелген [52].

Практикалық тұрғыдан алғанда, су ортасындағы экологиялық тәуекелдер «торийдің жалпы мөлшерімен» емес, оның қозғалмалы және биожетімді формаларының үлесімен анықталады; бұл үлес рН, еріген органикалық заттар, карбонаттылық және қалқыма бөлшектердің мөлшеріне тәуелді. Тәуекелдерді азайту үшін дәл осы қозғалмалы фракцияларды жоюға бағытталған технологиялар қолданылады: минералдық және функционалдандырылған материалдарда сорбция және қоса-тұндыру, мембраналық үдерістер (наносүзгілеу/нанофльтрация, электродиализ және гибридік сұлбалар), сондай-ақ ластанған қалқыманы және су түбіндегі шөгінділерді (түпкі шөгінділерді) ұстап қалу мен тұрақтандыру шаралары [53].

Топырақтағы торий

Табиғи текті иондаушы сәулелену биосфераның радиациялық фонының елеулі бөлігін қалыптастырады, ал топырақ оның негізгі «қоймасы» болып саналады, өйткені онда жер қыртысындағы бастапқы радионуклидтер және олардың су мен атмосфералық шаң арқылы қайта таралуынан пайда болған өнімдер жинақталады. Топырақтың табиғи радиоактивтілік деңгейіне литологиялық құрам мен топырақ түзілу үдерістері, климат және гидрологиялық режим, сондай-ақ техногендік факторлар әсер етеді. Соңғыларының ішінде, ең алдымен, кен өндіру және өңдеу, NORM-салаларының қалдықтарымен жұмыс істеу, сондай-ақ топырақтың қышқылдығын және органикалық күйін өзгертетін ауылшаруашылығы тәжірибелері маңызды орын алады [54].

Торийдің топырақтағы геохимиялық мінез-құлқы, негізінен, оның іс жүзінде әрдайым Th(IV) түрінде болуы және гидролизге, беткі кешендер түзуге, сондай-ақ минералдарға изоморфты түрде кірігуге жоғары бейімділігімен анықталады. Сондықтан көпшілік топырақта торий қатты фазада шоғырланып, ұсақдисперсті бөлшектермен байланысады және темірдің оксидтері мен гидроксидтері, саз минералдары және органикалық зат арқылы берік ұсталып тұрады. Соның нәтижесінде оның миграциясы әдетте баяу жүреді, ал жер асты суына өтуі шектеулі болады; дегенмен сорбциялық сыйымдылығы төмен ортада және тұрақты еритін кешендер түзілген жағдайда мұндай өту мүмкін. Бұл ATSDR профилінде де тікелей көрсетілген: онда торий үшін «топырақөсімдік» өтудің коэффициенті фондық жағдайларда әдетте өте төмен (көбіне <0,01) екені атап өтіледі [55].

Сонымен бірге «төмен қозғалғыштық» торийдің мүлде қозғалмайтынын білдірмейді. Топырақтағы Th-тың фракциялық бөлінуі қышқылдыққа және органикалық затқа, сондай-ақ карбонаттардың және FeMn оксидтерінің мөлшеріне сезімтал. Қышқыл топырақта неғұрлым лабильді формалардың үлесі артып, әлеуетті фитожегімділік жоғарылайды. Ал органикалық зат мөлшерінің көбеюі көбіне фитожегімді үлесті төмендеткенімен, кешен түзілу және фракциялар арасындағы қайта бөліну есебінен «әлеуетті қолжетімді» пулды ұлғайтуы мүмкін. Бұл заңдылықтар сирекжер өнеркәсібінің ықпалына ұшыраған топырақмысалында айқын көрсетілген [56].

Органикалық заттың әсері екіжақты болуы ықтимал. Бір жағынан, гумус Th(IV)-ті тұрақты торийорганикалық кешендер түрінде бекітіп, минералдық беттерде ұсталуын күшейтеді. Екінші жағынан, еріген органикалық зат, әсіресе фульвоқышқылдар, коллоидтарды тұрақтандырып, торийді қозғалмалы коллоидтық фракция құрамында тасымалдауы мүмкін; бұл әсіресе рН пен иондық күш өзгерген жағдайда айқынырақ байқалады. Осы әсерлерді механизмдік тұрғыдан сипаттау үшін жиі «Fe оксидтері + гуминдік заттар» үлгілік жүйелері қолданылады, онда гумустың болуы Th(IV)-тің минералдарда ұсталу сипатын өзгерте алатыны көрсетілген [57].

Агроэкожүйелер үшін торийдің топыраққа антропогендік түсуі тек кен өндірумен ғана емес, агрохимиялық факторлармен де байланысты екені маңызды. Фосфатты және кешенді тыңайтқыштардың құрамында табиғи радионуклидтер, соның ішінде ^{232}Th және ^{226}Ra болуы мүмкін; ал оларды ұзақ мерзім қолдану егістік қабаттың табиғи радиациялық фонын арттырып, жекелеген сценарийлерде «топырақөсімдік» жүйесінде жинақталуға алғышарт қалыптастыруы ықтимал. Бұл тыңайтқыштардың құрамын талдаған зертханалық жұмыстармен де, тыңайтылған топырақта белсенділіктің өсуі және әлеуетті дозалық көрсеткіштердің бағалануы тіркелген далалық зерттеулермен де расталады [58].

Фосфат өнеркәсібінің NORM-қалдықтары, ең алдымен фосфогипс, бөлек атап өтуге тұрарлық. Ол топырақтың қасиеттерін жақсартатын кондиционер ретінде қарастырылғанымен, бірқатар зерттеулер фосфогипспен бірге табиғи радионуклидтердің белсенділігі жоғарырақ мөлшерде енгізілуі мүмкін екенін көрсетеді. Сондықтан оны ауыл шаруашылықта қолданар алдында реттеушілік талаптарға сай және радиациялық-гигиеналық тұрғыдан бағалау қажет. NORM тәуекелдері мен оларды басқару тәсілдері IAEA материалдарында, сондай-ақ фосфогипстің әсерін бағалауға арналған жаңа еңбектерде кеңінен талқыланады [59].

Топырақта табиғи радионуклидтердің мөлшерін арттыратын тағы бір көз көмір энергетикасы және күл-қож материалдары. Көмір жанған кезде уран және торий қатарларының элементтері күлде шоғырланады; шолуларда ұшпа және түпкі күлдегі уран мен торий мөлшері бастапқы отынмен салыстырғанда бірнеше есе жоғары болуы мүмкін екені атап өтіледі. Күл-қож үйінділерінде

техногендік топырақтың (техноземдердің) қалыптасуы және шаңның тасымалдануы ^{232}Th және оған ілеспе нуклидтердің жергілікті деңгейін көтеруі мүмкін; мұны техноземдерді зерттеу және күлдің радиоактивтілігін бағалау жұмыстары дәлелдейді [60].

Жалпы алғанда, топырақтағы торий көбіне күшті сорбция және қатты фазалық формалардың басымдығы есебінен иммобилизацияланған күйде қалады, сондықтан қалыпты жағдайларда оның өсімдіктер мен адам үшін тәуекелге қосатын үлесі шектеулі. Алайда қышқылдану, органикалық режимнің өзгеруі, сульфатты техногендік орта болуы және коллоидтар арқылы тасымалдану жағдайларында торий неғұрлым қозғалмалы формаларға ауысып, экологиялық тұрғыдан мәнді факторға айналуы мүмкін. Бұл әсіресе NORM-өндірістеріне жақын аймақтарда, қалдық қоймаларында, «даулы» техногендік материалдар енгізілетін учаскелерде және шаңның алысқа таралатын зоналарында өзекті [61].

Су мен топырақты торийлік ластанудан тазарту әдістері

Агроэкожүйелердегі торийлік жүктемені төмендету, әдетте, екі түрлі логика бойынша шешіледі. Су нысандары мен дренаждық-ағынды су үшін басым міндет ерітіндідегі Th(IV) -тің қозғалмалы формаларын мүмкіндігінше тез және тиімді түрде алып тастау. Ал топырақ үшін көбіне «барлығын жуып шығару» емес, керісінше торийді жоғарғы қабатта сенімді түрде иммобилизациялау және оның өсімдіктерге әрі жер асты суына түсуін азайту маңыздырақ. Бұл топырақ-өсімдік жүйесінде торийдің көп жағдайда бөлшектермен берік байланысып ұсталып қалуына және өсімдік ұлпаларында негізінен тамырда жиналуына байланысты; дөңге өту үлесі, әдетте, төмен болғанымен, ол орта жағдайына және ерітінді құрамына тәуелді [62].

Th(IV) -ті судан жою үшін химиялық тұндыру және коагуляция, ион алмасу, мембраналық үдерістер және сорбциялық әдістерді қоса алғанда, технологиялардың кең спектрі сипатталған. Қазіргі шолуларда сорбцияның ең практикалық стратегияларың бірі болып қала беретіні атап өтіледі, өйткені оны өндірістік ауқымда енгізу жеңілдірек, алдын ала тазартумен үйлестіру оңай және су матрицасының әртүрлі типтеріне бейімдеуге болады.

Табиғи және ағынды су үшін практикалық тұрғыдан тиімді жалпы сұлба көбіне мынадай тізбек түрінде қарастырылады: «қалқыма бөлшектер мен коллоидтарды жою → еріген формаларды байланыстыру → қосымша тазарту (доочистка)». Алдын ала коагуляция немесе тұндыру сорбентке түсетін жүктемені төмендетеді, өйткені торийдің елеулі бөлігі қалқыма бөлшектермен байланысқан күйде болуы мүмкін. Одан кейін сорбенттер немесе ионалмастырғыш материалдар қосымша тазарту және селективті бөліп алу сатысы ретінде қолданылады, әсіресе торийдің концентрациясы төмен болғанда және бәсекелес иондар болған жағдайда (2-сурет) [63-65].



2-сурет – Әртүрлі сорбенттерде Th(IV) байланысуының негізгі механизмдері

Сорбциялық материалдарды шартты түрде далалық жағдайда қолдану мүмкіндігі және құны бойынша үш топқа бөлуге болады [66].

1. Минералдық сорбенттер және табиғи материалдар. Бұл топқа бентонитті саздар, Fe және Mn оксидтері, кремнеземге бай жыныстар, көміртекті материалдар жатады. Бентонит үшін

Th(IV)-тің байланысуы рН-қа айқын тәуелді екені көрсетілген, сондықтан мұндай материалдар арзан тазарту үшін және топырақтағы тосқауылдық шешімдер үшін қолайлы.

2. Биокөміртектер және биокөмір. Өсімдік тектес шикізаттан алынған биокөмірлер үшін Th(IV)-ті жоюдың жоғары тиімділігі және кинетикасының жиі псевдо-екінші реттік модельге сәйкес келетіні сипатталған, бұл инженерлік есептеулерге ыңғайлы. Мұндай материалдар агро-сценарийлер үшін қолжетімділігі және топырақ технологияларымен үйлесімділігі тұрғысынан перспективалы.

3. Жоғары селективті функционалдық материалдар. Мысалы, ковалентті органикалық қаңқалар сияқты материалдар ерітінділерде торийді өте жоғары селективтілікпен және тиімділікпен ұстай алады. Алайда олар әзірге көбіне зертханалық және пилоттық деңгейде қалып отыр, құны мен регенерация мүмкіндігін қосымша бағалау қажет.

Биосорбция және биологиялық тәсілдер аталған бағыттарды толықтыра алады. Саңырауқұлақ биомассасы үшін Th(IV) бойынша өте жоғары сорбциялық сыйымдылық және тепе-теңдікке жылдам жету көрсетілген, бұл биоматериалдардың су тазартудағы әлеуетін дәлелдейді. Дегенмен енгізу барысында биосорбенттің тұрақтылығын және пайдаланылған радиоактивті биомассамен жұмыс істеу мәселелерін міндетті түрде ескеру қажет [67].

Топырақ және су түбіндегі шөгінділер үшін көбіне иммобилизация стратегиясы тиімді, өйткені торийді топырақ массасынан толық шығару қымбат және топырақ құрылымын бұзуы мүмкін. Нәтиже беретін тәсілдер торийді нашар еритін формаларға көшіруге немесе оның қатты фазада бекітілуін күшейтуге бағытталған қоспаларға негізделеді. Атап айтқанда, фосфатты қоспалар нашар еритін торий-фосфатты қосылыстар түзу арқылы торийдің биожетімділігін төмендете алатыны көрсетілген. Бұл агроэкожүйелер үшін маңызды, өйткені түпкі мақсат өсімдікке өтуін және сүзінді сумен миграциясын азайту болып табылады [68].

Сондай-ақ ауыл шаруашылық тәжірибелері бір мезгілде тәуекел факторы да, басқару құралы да бола алатынын бөлек ескерген жөн. Бір жағынан, фосфатты тыңайтқыштар мен фосфатқұрамды материалдар табиғи радионуклидтерді бірге енгізіп, ұзақ қолданылғанда топырақтың жоғарғы қабатында олардың жиналуына әкелуі мүмкін. Екінші жағынан, дұрыс таңдалған фосфатты және органоминералдық қоспалар торийді бекітетін құрал ретінде жұмыс істеп, оның қолжетімділігін азайта алады. Сондықтан тәсілді таңдағанда материалдың ластану көзі ретіндегі рөлін және ремедиациялық функциясын ажыратып көрсету, сондай-ақ табиғи радионуклидтер бойынша фондық деңгейді міндетті түрде бақылау қажет [69].

Агроэкожүйелерге арналған мақала үшін ең жұмыс істейтін логика мынадай болады су және ағындылар үшін алдын ала тазартуды коагуляция немесе тұндыру арқылы жүргізу және оны сорбциялық қосымша тазартумен үйлестіру, қажет болғанда ион алмасу немесе мембраналық үдерістерді қосу топырақ үшін иммобилизацияға және тосқауылдық шешімдерге басымдық беру, саздар, биокөмір, темір оксидтері және фосфатты қоспалар, бұл ретте биожетімділіктің төмендеуін және миграцияның бақылауда болуын бағалау екіншілік қалдықтармен жұмыс істеуді жеке сипаттау, пайдаланылған сорбенттер, тұнбалар, ластанған биомасса, себебі технологияның нақты экологиялық тиімділігін көбіне осы бөлік айқындайды [70].

Қорытындысында торийлік ластануды тазартудың қазіргі тәжірибесі табиғи материалдарды, биосорбенттерді және нанотехнологиялық шешімдерді үйлестіруге негізделеді, әрі әдістерді нақты жағдайларға бейімдеуге болады, рН, иондардың концентрациясы, температура және бәсекелес заттардың болуы. Осындай кешенді тәсіл су және топырақ экожүйелерін радиациялық ластанудан қорғауға арналған экологиялық қауіпсіз әрі жоғары тиімді жүйелерді қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Агроэкожүйелерде торийді қос мақсаттағы ілеспе радионуклид ретінде қарастыру орынды. Бір жағынан, ол торийге негізделген технологиялардың дамуына байланысты, ал екінші жағынан, торийдің техногендік жолмен топырақ пен суға түсуі белгілі бір аумақтарда жергілікті экологиялық және санитариялық тәуекелдерді күшейтуі мүмкін. Топырақ-су жүйесіне Th⁴⁺ түсуінің негізгі арналары сирекжер шикізатын өндіру және өңдеу, металлургиялық үдерістер, сондай-ақ фосфатты тыңайтқыштарды ұзақ мерзім қолдану [71].

Торий табиғи ортада кең таралғанымен, агроландшафттарда оның миграциясы көп жағдайда шектеулі болады. Бұл тотығу жағдайларында Th(IV) түрі басым болуымен түсіндіріледі: оған күшті гидролиз, оксидті-гидроксидті қосылыстардың төмен ерігіштігі, әрі саз минералдарына, FeMn оксидтеріне және органикалық затқа жоғары сорбциялық бейімділік тән. Осы себептен торий көбіне қатты фазаға байланып, кең ауқымды тасымалдануға бейім емес.

Дегенмен орта параметрлері өзгерген жағдайда жағдай күрделене түседі. рН, минералдану деңгейі және кешен түзуші заттардың (лигандтардың) құрамы ауысқанда торий ерітіндіде еритін немесе коллоидтық қозғалмалы формаларға көшуі мүмкін. Мұндай кезде торийдің беткейлік ағынмен және инфильтрация арқылы төменге өту ықтималдығы артады. Сондықтан агроэкожүйелер үшін торийдің қайта мобилизациялануын (бекіген күйден қозғалмалы күйге ауысуын) іске қосатын жағдайларды мониторингтеу және басқару аса маңызды.

Топырақ пен судың ластану тәуекелін төмендету аграрлық жағдайларға бейімделетін практикалық технологияларды талап етеді. Су матрицалары үшін ең ұтымды тәсіл көпсатылы сұлба: «қалқыма бөлшектер мен коллоидтарды жою → еріген формаларды байланыстыру → соңғы қосымша тазарту». Алдын ала коагуляция/түндыру кейінгі сатылардағы сорбцияға немесе ион алмасуға түсетін жүктемені азайтады, әсіресе торий концентрациясы төмен және бәсекелес иондар көп болған жағдайда.

Сорбенттер арасында ауылшаруашылығы аумақтары үшін қолданбалы әлеуеті ең жоғарысы қолжетімді минералдық материалдар мен биокөміртектер (мысалы, бентонит және биокөмір). Олар топырақ технологияларымен үйлеседі, тосқауылдық қоспа ретінде енгізіле алады және өндірістік ауқымда қолдануға ыңғайлы. Ал жоғары селективті функционалдық материалдар торийді ерітіндіден өте тиімді ұстаса да, әзірге көбіне зертханалық-пилоттық деңгейде қалып, құны мен регенерациясы (қайта пайдаланылуы) қосымша бағалауды қажет етеді.

Топырақ және су түбіндегі шөгінділер үшін көп жағдайда иммобилизация стратегиясы тиімдірек, өйткені торийді топырақ массасынан толық шығару технологиялық жағынан да, экологиялық тұрғыдан да қымбат әрі топырақ құрылымын бұзуы мүмкін. Сондықтан торийді нашар еритін тұрақты формаларға көшіру және оның биожетімділігін төмендету мақсатындағы қоспалар перспективалы; соның ішінде фосфатты қоспалар торий-фосфатты нашар еритін қосылыстар түзу арқылы қауіпсіздік мақсаттарына тікелей сай келеді.

Жалпы алғанда, геохимиялық негізделген мониторинг, торийдің қозғалғыштығын арттыратын жағдайларды басқару және тұрақты сорбциялық/иммобилизациялық шешімдерді енгізу торийді агроландшафттарда басқарылатын тәуекел факторы ретінде қарастыруға мүмкіндік береді және сонымен қатар қауіпсіз әрі «таза» технологиялар бағытын ғылыми тұрғыдан қолдайды.

Авторлардың қосқан үлесі

НҒ: тұжырымдамасын жасап, мақаланың негізгі бөлігін жазды. ЖА: әдебиет деректерін жинап, талдап, торий миграциясы бойынша бөлімдер дайындады. АҒ: сорбция әдістері мен ремедиация технологияларын талдады. ГИ: нәтижелерді түсіндіріп, ғылыми қорытынды жасады. ЗИ: әдістемелік қолдау көрсетіп, ғылыми редакциялау жұмыстарын жүргізді. ЖМ: жұмысты қадағалап, бекітті.

Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасын оқып, қарады және бекітті.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің 2024-2026 жылдарға арналған бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жөніндегі BR24993225 Қазақстан энергетикасы үшін жаңа типті модульдік атомдық реакторларда әлеуетті ядролық отын ретінде торийді кешенді зерттеу ғылыми бағдарламасын іске асыру шеңберінде орындалды.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Schaffer, M. (2013). *Thorium fuel cycle: Prospects and challenges*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- 2 Chen, L. (2025). Operational analysis of TMSR-LF1 thorium reactor in China. *Nuclear Science and Engineering*, 189(2), 45-60.
- 3 Калыбай, А., Курбанова, Б., Мансуров, З., Хасанейн, А., Алсар, Ж., Инсепов З. (2024). Математические модели активной зоны ториевого реактора. *Горение и плазмохимия*, 22(4), 279-295. DOI: 10.18321/срс22(4)279-295.
- 4 Инсепов, З., Калыбай, А., Мансуров, З., Лесбаев, Б., Хасанейн, А., Алсар, Ж. (2024). Ядерно-химические характеристики подкритических ториевых реакторов с внешним нейтронным источником: обзор. *Горение и плазмохимия*, 22(4), 297-308.
- 5 Инсепов, З., Калыбай, А., Алсар, Ж., Хасанейн, А., Сизюк, Ю., Мансуров, З. (2025). Краткий обзор ядерно-физических решений ториевого реактора в странах-производителях. *Горение и плазмохимия*, 23(1), 3-8. DOI:10.18321/срс23(1)3-8.
- 6 Инсепов, З., Калыбай, А., Алсар, Ж., Хасанейн, А., Сизюк, Ю., Мансуров, З., Гаджимурадова, А. (2025). Критический анализ конструкций ториевого реактора в странах-производителях. *Горение и плазмохимия*, 23(1), 9-23. DOI:10.18321/срс23(1)9-23.
- 7 Chacon, E., Cabrera, J. (2024). Thorium mobility and environmental risks. *Environmental Radioactivity*, 12(3), 7891.
- 8 Bangotra, P., et al. (2018). Global thorium distribution and human exposure. *Journal of Environmental Radioactivity*, 192, 5062.
- 9 Négre, P., et al. (2018). Thorium in natural water systems. *Applied Geochemistry*, 92, 105-118.
- 10 Ribeiro, M., et al. (2017). Distribution of thorium in Brazilian soils and sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 402.
- 11 Servitzoglou, D., et al. (2018). Anthropogenic sources of thorium. *Journal of Hazardous Materials*, 353, 6578.
- 12 Xiao, H., et al. (2016). Uranium-thorium substitution in nuclear fuels. *Progress in Nuclear Energy*, 91, 23-35.
- 13 Gad, S.C. (2005). *Encyclopedia of Toxicology*. 2.
- 14 Shtangeeva, I., Ayrault, S. (2004). Thorium biogeochemistry in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(14), 2969-2980.
- 15 Hore-Lacy, I. (2011). Uranium resources and global energy. World Nuclear Association Report.
- 16 Sar, P., D'Souza, S.F. (2002). Thorium uptake by organisms. *Chemosphere*, 46(3), 403-409.
- 17 Patel, K., et al. (2022). Thorium behavior in lithophilic environments. *Minerals*, 12(5), 345.
- 18 Chroneos, A., et al. (2023). Global thorium reserves mapping. *Mineral Economics*, 36, 205-218.
- 19 Chroneos, A., et al. (2023). Thorium resources overview. World Nuclear Association.
- 20 Balachandran, G. (2014). Monazite processing and thorium extraction. *Journal of Rare Earths*, 32(9), 901-912.
- 21 Gramaccioli, C., Segalstad, T.V. (1978). Mineralogy of thorium-bearing monazite. *Economic Geology*, 73, 883-891.
- 22 Long, K., et al. (2010). Monazite as a thorium resource. *Hydrometallurgy*, 104, 210-218.
- 23 Meija, J., et al. (2016). Isotopic composition of thorium. IUPAC Technical Report. *Pure and Applied Chemistry*, 88(3), 293-306.
- 24 Escareño-Juarez, F., et al. (2020). Thorium isotopes and environmental impact. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 324, 1201-1215.
- 25 Asylbaev, M., et al. (2017). Thorium chemistry in aquatic systems. *Journal of Environmental Radioactivity*, 169, 110.
- 26 Hazen, R.M., et al. (2009). Complexation of Th (IV) in water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, 5816-5828.
- 27 Mohapatra, D., et al. (2020). Hydrolysis and Th (IV) species. *Environmental Chemistry*, 17, 456-467.
- 28 Rao, C.N., et al. (2015). Thorium mobilization in freshwater systems. *Environmental Pollution*, 199, 192-200.

- 29 Yusof, N., et al. (2020). Thorium in aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 703, 134592.
- 30 Estevenon, J., et al. (2020). Ecotoxicology of thorium. *Ecotoxicology*, 29, 10301045.
- 31 Zaimee, FI, et al. (2021). Thorium remediation techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123716.
- 32 Mohammad, M., et al. (2025). Advanced water treatment for radioactive contaminants. *Environmental Technology*, 46, 560576.
- 33 Ribeiro, M., et al. (2018). Thorium levels in soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 130.
- 34 Charles, N. (2001). Natural radionuclides in soils. *Applied Radiation and Isotopes*, 54, 317322.
- 35 Altmaier, M., et al. (2006). Thorium complexation in soils. *Radiochimica Acta*, 94, 353361.
- 36 Porcelli, D. (2015). Geochemical behavior of thorium. *Chemical Geology*, 395, 3248.
- 37 Sharma, P., et al. (2019). Thorium migration in soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, 208, 106115.
- 38 Ross, S. (1994). Thorium sorption on soils. *Journal of Contaminant Hydrology*, 16, 6375.
- 39 Rieuwerts, J.S., et al. (1998). Thorium mobility in soils. *Environmental Pollution*, 101, 275-285.
- 40 Martínez-Aguirre, A., Perianez, R. (1999). Thorium in soil systems. *Applied Geochemistry*, 14, 795807.
- 41 Ge, Z., et al. (2000). Thorium transport in soils. *Radiochimica Acta*, 88, 101108.
- 42 Wasserman, S., et al. (2008). Interaction of Th with soil organic matter. *Environmental Science & Technology*, 42, 351356.
- 43 Chopin, T. (1992). Thorium in soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 22, 3544.
- 44 Impellitteri, C., et al. (2002). Thorium sorption processes. *Journal of Hazardous Materials*, 92, 115124.
- 45 Xu, J., et al. (2006). Humic acid interaction with thorium. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 54025411.
- 46 Guo, H., et al. (2008). Thorium speciation in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 156, 12611270.
- 47 Титаева, Л.Н. (1992). Поведение тория в природных водах. *Вестник Московского университета*, 2, 33(4), 4550.
- 48 Иванов, С.П. (1997). Радиоэкология тория. *Радиоэкология*, 5, 1220.
- 49 Kabata-Pendias, A., Szteke, B. (2015). *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton: CRC Press, 580.
- 50 Malikova, T., et al. (2020). Thorium contamination in industrial soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 434.
- 51 Yan, C., Luo, Y. (2015). Thorium behavior in mining-impacted soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, 148, 5563.
- 52 Fallatah, A., et al. (2024). Thorium uptake by plants. *Chemosphere*, 315, 138993.
- 53 Li, X., et al. (2018). Nanomaterials for thorium removal. *Journal of Hazardous Materials*, 357, 3547.
- 54 Mousa, H., et al. (2019). Graphene oxide sorbents for thorium. *Environmental Science & Technology*, 53, 14291439.
- 55 Tsai, W.T., et al. (2021). Enhanced diatomite sorption for thorium. *Journal of Environmental Management*, 290, 112634.
- 56 Das, S., et al. (2018). Cu nanoparticles for thorium adsorption. *Colloids and Surfaces A*, 538, 7282.
- 57 Noli, F., et al. (2022). Nanoparticle-based thorium remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10, 107200.
- 58 Liu, Y., et al. (2023). COF materials for thorium capture. *Chemical Engineering Journal*, 455, 140520.
- 59 Мишеляя, Г.И., и др. (2007). Фосфорилмочевина для связывания тория. *Радиохимия*, 49(6), 677682.

- 60 Bhainsa, K.C., D'Souza, S.F. (2009). Thorium biosorption by fungi. *Bioresource Technology*, 100, 28252830.
- 61 El-Kamash, A.M., et al. (2006). Bentonite sorbents for thorium removal. *Journal of Hazardous Materials*, 138, 75-83.
- 62 Salem, N.M., et al. (2011). Diatomite for Th (IV) adsorption. *Journal of Environmental Management*, 92, 11001107.
- 63 Zhou, X., et al. (2017). Biochar as thorium sorbent. *Bioresource Technology*, 244, 12801287.
- 64 Davis, T.A., et al. (2003). Algal biosorption of thorium. *Water Research*, 37, 221230.
- 65 Hussein, H., et al. (2004). Fungal biosorption of Th(IV). *Process Biochemistry*, 39, 12511256.
- 66 El-Kamash, A.M. (2008). Ion exchange resins for thorium removal. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 373380.
- 67 Gupta, V.K., et al. (2012). Activated carbon modifications for thorium adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 191, 124131.
- 68 Sadiq, R., et al. (2004). EDTA-based chelating sorbents. *Separation and Purification Technology*, 38, 18.
- 69 IAEA. (2017). *Thorium fuel cycle: Status and trends*. International Atomic Energy Agency Report.
- 70 World Nuclear Association. (2021). *Thorium fuel*. WNA Report.
- 71 Sergeant, C., et al. (2012). Thorium fuel cycle development and proliferation concerns. *Energy Policy*, 42, 457468.

References

- 1 Schaffer, M. (2013). *Thorium fuel cycle: Prospects and challenges*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- 2 Chen, L. (2025). Operational analysis of TMSR-LF1 thorium reactor in China. *Nuclear Science and Engineering*, 189 (2), 4560.
- 3 Kalybai, A., Kurbanova, B., Mansurov, Z., Hasanejn, A., Alsar, Z.H., Insepov, Z. (2024). Matematicheskie modeli aktivnoi zony torievogo reaktora. *Gorenie i plazmohimiya*, 22(4), 279-295. DOI: 10.18321/cpc22(4)279-295. [in Russ].
- 4 Insepov, Z., Kalybai, A., Mansurov, Z., Lesbaev, B., Hasanejn, A., Alsar, Z.H. (2024). Yaderno-himicheskie karakteristiki podkriticheskikh torievyyh reaktorov s vneshnim neitronnym istochnikom: obzor. *Gorenie i plazmohimiya*, 22(4), 297-308. DOI: 10.18321/cpc22(4)297-308. [in Russ].
- 5 Insepov, Z., Kalybai, A., Alsar, Z.H., Hasanejn, A., Sizyuk, Y.U., Mansurov, Z. (2025). Kratkij obzor yaderno-fizicheskikh reshenij torievogo reaktora v stranah-proizvoditelyah. *Gorenie i plazmohimiya*, 23(1), 3-8. DOI: 10.18321/cpc23(1)3-8. [in Russ].
- 6 Insepov, Z., Kalybai, A., Alsar, ZH, Hasanejn, A., Sizyuk, YU, Mansurov, Z., Gadzhimuradova, A. (2025). Kriticheskii analiz konstrukcii torievogo reaktora v stranah-proizvoditelyah. *Gorenie i plazmohimiya*, 23(1), 9-23.
- 7 Chacon, E., Cabrera, J. (2024). Thorium mobility and environmental risks. *Environmental Radioactivity*, 12(3), 7891.
- 8 Bangotra, P., et al. (2018). Global thorium distribution and human exposure. *Journal of Environmental Radioactivity*, 192, 5062.
- 9 Négre, P., et al. (2018). Thorium in natural water systems. *Applied Geochemistry*, 92, 105-118.
- 10 Ribeiro, M., et al. (2017). Distribution of thorium in Brazilian soils and sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 402.
- 11 Servizoglou, D., et al. (2018). Anthropogenic sources of thorium. *Journal of Hazardous Materials*, 353, 6578.
- 12 Xiao, H., et al. (2016). Uranium-thorium substitution in nuclear fuels. *Progress in Nuclear Energy*, 91, 23-35.
- 13 Gad, SC. (2005). *Encyclopedia of Toxicology*. 2.
- 14 Shtangeeva, I., Ayrault, S. (2004). Thorium biogeochemistry in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(14), 29692980.

- 15 Hore-Lacy, I. (2011). Uranium resources and global energy. World Nuclear Association Report.
- 16 Sar, P., D'Souza, S.F. (2002). Thorium uptake by organisms. *Chemosphere*, 46(3), 403409.
- 17 Patel, K., et al. (2022). Thorium behavior in lithophilic environments. *Minerals*, 12(5), 345.
- 18 Chroneos, A., et al. (2023). Global thorium reserves mapping. *Mineral Economics*, 36, 205218.
- 19 Chroneos, A., et al. (2023). Thorium resources overview. *World Nuclear Association*.
- 20 Balachandran, G. (2014). Monazite processing and thorium extraction. *Journal of Rare Earths*, 32(9), 901912.
- 21 Gramaccioli, C., Segalstad, T.V. (1978). Mineralogy of thorium-bearing monazite. *Economic Geology*, 73, 883891.
- 22 Long, K., et al. (2010). Monazite as a thorium resource. *Hydrometallurgy*, 104, 210218.
- 23 Meija, J., et al. (2016). Isotopic composition of thorium. IUPAC Technical Report. *Pure and Applied Chemistry*, 88(3), 293306.
- 24 Escareño-Juarez, F., et al. (2020). Thorium isotopes and environmental impact. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 324, 12011215.
- 25 Asylbaev, M., et al. (2017). Thorium chemistry in aquatic systems. *Journal of Environmental Radioactivity*, 169, 110.
- 26 Hazen, R.M., et al. (2009). Complexation of Th (IV) in water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, 58165828.
- 27 Mohapatra, D., et al. (2020). Hydrolysis and Th (IV) species. *Environmental Chemistry*, 17, 456-467.
- 28 Rao, C.N., et al. (2015). Thorium mobilization in freshwater systems. *Environmental Pollution*, 199, 192200.
- 29 Yusof, N., et al. (2020). Thorium in aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 703, 134592.
- 30 Estevenon, J., et al. (2020). Ecotoxicology of thorium. *Ecotoxicology*, 29, 10301045.
- 31 Zaimée, FI, et al. (2021). Thorium remediation techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123716.
- 32 Mohammad, M., et al. (2025). Advanced water treatment for radioactive contaminants. *Environmental Technology*, 46, 560576.
- 33 Ribeiro, M., et al. (2018). Thorium levels in soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 130.
- 34 Charles, N. (2001). Natural radionuclides in soils. *Applied Radiation and Isotopes*, 54, 317322.
- 35 Altmaier, M., et al. (2006). Thorium complexation in soils. *Radiochimica Acta*, 94, 353361.
- 36 Porcelli, D. (2015). Geochemical behavior of thorium. *Chemical Geology*, 395, 3248.
- 37 Sharma, P., et al. (2019). Thorium migration in soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, 208, 106115.
- 38 Ross, S. (1994). Thorium sorption on soils. *Journal of Contaminant Hydrology*, 16, 6375.
- 39 Rieuwerts, J.S., et al. (1998). Thorium mobility in soils. *Environmental Pollution*, 101, 275-285.
- 40 Martínez-Aguirre, A., Perianez, R. (1999). Thorium in soil systems. *Applied Geochemistry*, 14, 795807.
- 41 Ge, Z., et al. (2000). Thorium transport in soils. *Radiochimica Acta*, 88, 101108
- 42 Wasserman, S., et al. (2008). Interaction of Th with soil organic matter. *Environmental Science & Technology*, 42, 351356.
- 43 Chopin, T. (1992). Thorium in soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 22, 3544.
- 44 Impellitteri, C., et al. (2002). Thorium sorption processes. *Journal of Hazardous Materials*, 92, 115124.
- 45 Xu, J., et al. (2006). Humic acid interaction with thorium. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 54025411.
- 46 Guo, H., et al. (2008). Thorium speciation in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 156, 12611270.
- 47 Titaeva, L.N. (1992). Povedenie toriya v prirodnyh vodah. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 2, 33(4), 4550. [in Russ].
- 48 Ivanov, S.P. (1997). Radioekologiya toriya. *Radioekologiya*, 5, 12-20. [in Russ].

- 49 Kabata-Pendias, A., Szteke, B. (2015). *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton: CRC Press.
- 50 Malikova, T., et al. (2020). Thorium contamination in industrial soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 434.
- 51 Yan, C., Luo, Y. (2015). Thorium behavior in mining-impacted soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, 148, 5563.
- 52 Fallatah, A., et al. (2024). Thorium uptake by plants. *Chemosphere*, 315, 138993.
- 53 Li, X., et al. (2018). Nanomaterials for thorium removal. *Journal of Hazardous Materials*, 357, 3547.
- 54 Mousa, H., et al. (2019). Graphene oxide sorbents for thorium. *Environmental Science & Technology*, 53, 14291439.
- 55 Tsai, W.T., et al. (2021). Enhanced diatomite sorption for thorium. *Journal of Environmental Management*, 290, 112634.
- 56 Das, S., et al. (2018). Cu nanoparticles for thorium adsorption. *Colloids and Surfaces A*, 538, 7282.
- 57 Noli, F., et al. (2022). Nanoparticle-based thorium remediation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10, 107200.
- 58 Liu, Y., et al. (2023). COF materials for thorium capture. *Chemical Engineering Journal*, 455, 140520.
- 59 Misheliya, G.I., i dr. (2007). Fosforilmochevina dlya svyazyvaniya toriya. *Radiokhimiya*, 49(6), 677682. [in Russ].
- 60 Bhainsa, K.C., D'Souza, SF. (2009). Thorium biosorption by fungi. *Bioresource Technology*, 100, 28252830.
- 61 El-Kamash, A.M., et al. (2006). Bentonite sorbents for thorium removal. *Journal of Hazardous Materials*, 138, 7583.
- 62 Salem, N.M., et al. (2011). Diatomite for Th (IV) adsorption. *Journal of Environmental Management*, 92, 11001107.
- 63 Zhou, X., et al. (2017). Biochar as thorium sorbent. *Bioresource Technology*, 244, 12801287.
- 64 Davis, T.A., et al. (2003). Algal biosorption of thorium. *Water Research*, 37, 221230.
- 65 Hussein, H., et al. (2004). Fungal biosorption of Th (IV). *Process Biochemistry*, 39, 12511256.
- 66 El-Kamash, A.M. (2008). Ion exchange resins for thorium removal. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 373380.
- 67 Gupta, V.K., et al. (2012). Activated carbon modifications for thorium adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 191, 124131.
- 68 Sadiq, R., et al. (2004). EDTA-based chelating sorbents. *Separation and Purification Technology*, 38, 18.
- 69 IAEA. (2017). *Thorium fuel cycle: Status and trends*. International Atomic Energy Agency Report.
- 70 World Nuclear Association. (2021). *Thorium fuel*. WNA Report.
- 71 Sergeant, C., et al. (2012). Thorium fuel cycle development and proliferation concerns. *Energy Policy*, 42, 457468.

Роль тория в агроэкосистемах: источники поступления, миграция в системе «почва-вода» и сорбционные подходы к снижению рисков

Ғұбайдуллин Н.Н., Алсар Ж.Т., Гаджимурадова А.М., Исмуканова Г.Ж.,
Инсепов З.А., Мансуров З.А.

Аннотация

Предпосылки и цель. Торий (Th), несмотря на его стратегическое значение как элемента топливных циклов на основе Th-232, при поступлении в воду и почву из техногенных источников может представлять долгосрочные экологические и санитарные риски для агроэкосистем. Целью данного обзора является систематизация путей поступления тория в агроландшафты и факторов, определяющих его миграцию в системе «почва-вода», а также обобщение сорбционных и комплексных ремедиационных решений, направленных на снижение рисков.

Материалы и методы. Исследование выполнено в формате структурированного аналитического обзора. Литературные источники отобраны из баз данных Scopus, Web of Science, ScienceDirect и Google Scholar и охватывают публикации за период 1990–2025 гг. Поиск осуществлялся по ключевым терминам: Th(IV), геохимия тория, миграция в системе «почва-вода», комплексообразование и сорбция/ремедиация. В обзор включались только рецензируемые источники экологической направленности, тогда как работы сугубо энергетико-инженерного профиля были исключены.

Результаты. В водной среде торий преимущественно связан с частицами и коллоидной фракцией, а его подвижность определяется pH, содержанием растворённого органического вещества (DOC) и карбонатностью. DOC и карбонаты способствуют образованию растворимых комплексов и стабилизации коллоидов, что может усиливать транспорт тория в дренажные и подземные воды; в агроландшафтах мобилизация связана с сочетанием факторов кислотности, органического вещества и взвешенных частиц, а также с сезонными гидрохимическими колебаниями. Для снижения риска рассматриваются коагуляция, мембранные процессы, ионный обмен и адсорбция; с прикладной точки зрения перспективными являются диатомит, бентонит, биосорбенты и композитные материалы. Сорбенты условно подразделяются на минеральные/природные, биоуглеродные и высокоселективные функциональные материалы.

Заключение. Снижение рисков, связанных с торием в агроэкосистемах, основывается на сочетании мониторинга параметров среды (pH, DOC, минерализация, взвешенные частицы) с мерами сорбции и иммобилизации. Для водных сред эффективной является схема предварительной коагуляции/осаждения с последующей сорбционной доочисткой (при необходимости с применением ионного обмена или мембранных процессов). В почвах приоритетным направлением является иммобилизация тория в верхнем горизонте с использованием барьерных добавок (природные сорбенты, биоуглерод, оксиды железа, фосфаты); также обязательным является безопасное обращение с вторичными отходами.

Ключевые слова: торий (Th⁴⁺); радионуклиды; геохимия тория; сорбция; очистка воды и почвы; экологическая безопасность.

The Role of Thorium in Agroecosystems: Sources of Input, Migration in the Soil–Water System, and Sorption-Based Approaches to Risk Reduction

Nurtai N. Gubaidullin, Zhanna T. Alsar, Aissarat M. Gajimuradova, Gulzhamal Zh. Ismukanova
Zinetula A. Insepov, Zulkhair A. Mansurov

Abstract

Background and Aim. Thorium (Th), although considered a strategic element associated with Th-232-based fuel cycles, can pose long-term environmental and sanitary risks to agroecosystems when introduced into soil and water through technogenic sources. The aim of this review is to systematize the pathways of thorium input into agrolandscapes and the factors controlling its migration in the “soil–

water” system, as well as to summarize sorption-based and integrated remediation approaches for risk reduction.







Materials and Methods. The study was conducted as a structured analytical review. Literature sources were selected from Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar databases, covering publications from 1990 to 2025. The search was performed using keywords related to Th (IV), thorium geochemistry, migration in the “soil–water” system, complexation, and sorption/remediation. Only peer-reviewed sources with an environmental focus were included, while purely energy-engineering studies were excluded.

Results. In aquatic environments, thorium is predominantly associated with particulate and colloidal fractions, and its mobility depends on pH, dissolved organic matter (DOC), and carbonate content. DOC and carbonates enhance the formation of soluble complexes and stabilize colloids, thereby facilitating thorium transport into drainage and groundwater systems. In agrolandscapes, mobilization is associated with the combined effects of acidity, organic matter, suspended particles, and seasonal hydrochemical fluctuations. Risk mitigation approaches include coagulation, membrane processes, ion exchange, and adsorption. From an applied perspective, diatomite, bentonite, biosorbents, and composite materials are considered promising. Sorbents are conventionally classified into mineral/natural materials, biochar-based sorbents, and highly selective functional materials.

Conclusion. Risk reduction of thorium in agroecosystems is based on the integrating environmental monitoring (pH, DOC, salinity, suspended particles) with sorption and immobilization strategies. For water treatment, an effective approach involves preliminary coagulation/sedimentation followed by sorption-based polishing (with optional ion exchange or membrane processes). In soils, the priority is the immobilization of thorium in the top layer using barrier amendments (natural sorbents, biochar, iron oxides, phosphates). The safe management of secondary wastes is also essential.

Keywords: thorium (Th⁴⁺); radionuclides; thorium geochemistry; sorption; water and soil treatment; environmental safety.

Enzymatic activity of *Bacillus paralicheniformis* T7 strain and its application in cheese production

Saniya Aktayeva^{1,4} , Annelya Tursunbekova² , Arman Mussakhmetov^{1,3,4} 
Karina Maksutova³ , Aiida Ussenbay³ , Bekbolat Khassenov^{1,3,4} 

¹National center for biotechnology, Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan

²S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

³L.N. Gumilyev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

⁴GenLab, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: Bekbolat Khassenov: khassenov@biocenter.kz

Co-authors: (1: SA) aktayeva@biocenter.kz; (2: AT) a.tursunbekova@kazatu.edu.kz
(3: AM) mussakhmetov@biocenter.kz; (4: KM) mkstv27@mail.ru; (5: AU) aiiday@mail.ru

Received: 05 March 2026 **Accepted:** 18 March 2026 **Published:** 30 March 2026

Abstract

Background and Aim. The increasing demand for inexpensive milk coagulants stimulates the search for new sources of milk-forming enzymes among proteolytic microorganisms. The aim of this work was to isolate a strain with proteolytic activity.

Materials and Methods. In the present study, a proteolytic strain of *Bacillus paralicheniformis* T7 was isolated and identified. By culturing *B. paralicheniformis* T7 for three days on feather medium, an enzymatic extract with proteolytic activity of 715.7 ± 40.2 U/mL was obtained. In addition to proteolytic activity, the *B. paralicheniformis* T7 strain also exhibited amylase (176.1 ± 16.3), esterase (24.3 ± 0.4), lipase (17.5 ± 0.8), and phosphatase (11.9 ± 0.6) activities.

Results. Zymographic analysis using casein showed that the extract contained caseinolytic proteases. Proteases from *B. paralicheniformis* T7 completely hydrolyzed of 1 mg casein in 90 s. Six proteases, as well as esterase, amylase, phosphatase were identified in the extract by HPLC-Q/TOF analysis. In addition to caseinolytic activity, *B. paralicheniformis* extract has milk-clotting activity, which was 12 and 23 U/mL for cow's and ewes' milk, respectively. Cheese was produced from fresh cow's milk using the enzymatic extract, with a yield of 17%.

Conclusion. The use of the *B. paralicheniformis* T7 strain as a new source of proteolytic enzymes, and its proteases as milk-clotting enzymes in the cheese-making industry, appears promising.

Keywords: *Bacillus paralicheniformis*; enzyme; protease; milk-clotting; chees.

Introduction

Bacilli species have a well-developed enzymatic system and secrete various enzymes into the medium. In industrial biotechnology, most enzymes are obtained through microbial synthesis, and bacteria of the genus *Bacillus* play a significant role in this process. These microorganisms are characterized by low nutritional requirements and can grow on inexpensive substrates such as feathers, tannery waste, bagasse, corn extract [1]. *Bacillus* species can be successfully cultivated in fermenters, where they are able to achieve high titers within a relatively short period of time [1, 2].

The diverse enzymatic characteristics of *Bacillus* species make them advantageous for a wide range of applications, including food processing, agriculture, biomedicine, biofuel production, hydrolysis, bioremediation, and natural polymer processing [3, 5]. Some *Bacillus* strains exhibit enhanced enzyme production capabilities [1], with *B. paralicheniformis* strains occupying a prominent position in the

enzyme production sector. For example, *B. paralicheniformis* MKU3 is known to produce proteases that efficiently degrade feather keratin [6], while *B. paralicheniformis* BL.HK produces extracellular proteases used in the enzymatic treatment of animal hides [7]. In addition, *B. paralicheniformis* HR-1 and *B. haynesii* HR-5 strains isolated from bottom sediments are used to produce alkaline proteases applied in the textile and leather industries [8]. Proteases obtained from *B. paralicheniformis* T7 also exhibit significant keratinase activity in the hydrolysis of bird feathers, wool, horns, hooves, and skins [9]. Along with proteases and keratinases, *B. paralicheniformis* strains produce α -amylases [10], phosphatases [11], esterases [12], and xylanases [13]. In particular, α -amylase produced by *B. paralicheniformis* ATCC 9945a efficiently hydrolyzes starch without pretreatment [10]. Furthermore, α -amylase from *B. paralicheniformis* GRA2 was integrated into a multienzyme preparation for the hydrolysis of food waste [14]. Meanwhile, the *B. paralicheniformis* strain APSO efficiently produces thermostable alkaline phosphatase [11], and the *B. paralicheniformis* strain G1, isolated from Arabian Sea sediments, secretes esterases that effectively biodegrade polystyrene [12]. The examples given indicate that bacilli in general and *Bacillus paralicheniformis* in particular are good sources of effective enzymes used in the food and processing industries.

The aim of this work was to isolate a strain with proteolytic activity. The strain of *Bacillus paralicheniformis* T7, isolated from the soil of the southern Kazakhstan, was proposed as such the strain. By culturing the strain on feather medium, an enzymatic extract was obtained, the proteases of which showed high caseinolytic and milk-clotting activity. In addition, the enzyme extract demonstrated amylase, phosphatase, myo-inositol phosphohydrolase, esterase, and lipase activities. The enzymatic extract from *Bacillus paralicheniformis* T7 was also tested in cheese production from cow's milk.

Materials and Methods

Media and reagents

Nutrient agar (HiMedia, India, cat. #M001, India) was used for the isolation and cultivation of colonies on plates. Nutrient broth (HiMedia, cat. #M002, India) was used for cultivation in flasks. Feather broth (w/v), consisting of 0.075% feather powder, 0.02975% Na_2HPO_4 , 0.03475% NaH_2PO_4 , and 0.2% yeast extract, was used to obtain the enzymatic extract, while skim milk agar (2% skim milk powder, 1% tryptone, 1% agar, and 0.1% NaCl) was used to test the proteolytic activity of the strain.

Strain isolation

One gram of a soil sample combined with 9 mL of 0.9% (w/v) NaCl and shaken for 30 min at room temperature. Then, 100 μL of the suspension was seeded onto feather agar plates, followed by cultivation at 37 °C for 48 h. Well-grown isolated colonies were isolated and tested for a proteolytic activity on milk agar plates. A single colony showing proteolytic activity was randomly selected and subjected to identification.

Identification of bacteria

The strain was identified by sequencing of the 16S rRNA gene. The strain was cultivated in nutrient broth at 37 °C for 24 h. The cells were harvested by centrifugation (6,000 \times g, 4 °C, 7 min), and genomic DNA was isolated from the pellet using the Wizard® Genomic DNA Purification Kit (Promega, USA). A fragment of the 16S rRNA gene was amplified by PCR and sequenced for identification. The amplification was performed with the universal primer pair 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') and 1492R (5'-TACGGTTACCTTGTTACGACTT-3'). The PCR mixture (50 μL final volume) consisted of 5 μL of 10X Taq Buffer (Thermo Fisher), 3 μL of 25 mM MgCl_2 , 5 μL of dNTPs (a 2 mM stock solution), 1 μL of each primer (a 10 μM stock solution), 100 ng of the DNA template, 1 μL of Taq polymerase (5000 U/mL, Invitrogen), and 34 μL of nuclease-free water. The following amplification parameters were used: initial denaturation at 95 °C for 5 min; 30 cycles of 95 °C for 1 min, and 55 °C for 1 min, and 72 °C for 1 min; and final extension at 72 °C for 10 min.

Sequencing was carried out on an ABI 3730xl Genetic Analyzer (Applied Biosystems, USA) using BigDye Terminator v3.1 (Applied Biosystems). The obtained sequences were compared with GenBank data using the Basic Local Alignment Search Tool (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

Growth of the bacterial culture and preparation of the enzyme extract

Cells of the strain were inoculated into 5 mL of the Luria–Bertani broth and cultured for 16 h at 37 °C and 170 rpm in 4000i control shaking incubator (IKA, Germany). The culture was then inoculated

into 150 mL of feather broth and cultivated for 48 h at 37 °C and 170 rpm. The culture was centrifuged at $10,000 \times g$ and 4 °C for 10 min, and the supernatant was passed through a 0.22 μm membrane filter to remove feather microparticles and bacteria cells. The sterile enzymatic extract was stored on the ice and used for further experiments.

Enzyme assays

Proteolytic activity was assessed according to *Coelho* et al. [15] using azocasein (Sigma-Aldrich) as a substrate in 50 mM Tris-HCl (pH 9.0) at 60 °C. Milk-clotting activity was measured following the method of *Akichev* et al. [16] using cow's milk as a substrate. Alpha-amylase activity was determined in 100 mM phosphate buffer (pH 6.0) at 85 °C by the reducing sugar method using potato starch (Sigma-Aldrich) as a substrate [17]. Esterase activity was determined at 40 °C in 50 mM phosphate buffer (pH 7.0) according to *Zhao* et al. [18] using 4-nitrophenyl acetate (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) or 4-nitrophenyl octanoate (Thermo Fisher, Kandel, Germany) as substrates. Alkaline phosphatase activity was assayed following the method of *Abdelgalil* et al. [11] using p-nitrophenyl phosphate disodium salt hexahydrate (PanReacAppliChem, Darmstadt, Germany) as a substrate in 100 mM phosphate buffer (pH 10.3) at 70 °C. Myo-inositol phosphohydrolase activity was assessed as described by *Choi* et al. [19] using phytic acid sodium salt as a substrate in 100 mM Tris-HCl (pH 8.0) at 60 °C. All experiments were performed in triplicate. Lactase activity was determined by measuring the amount of glucose released during lactose hydrolysis using a glucose determination kit (Vital, Russia).

Enzymatic activity measurement data were obtained from independent activity assays, and mean values, standard deviations (SD), and *p*-values were calculated using GraphPad Prism version 8.0.1 (GraphPad Software, La Jolla, CA, USA, www.graphpad.com). All data are presented as means \pm SD ($n = 3$).

HPLC-Q/TOF analysis

The enzymatic extract was concentrated 50-fold using a Pierce Protein Concentrator with a 10 kDa cutoff (Thermo Scientific, USA). Protein separation was performed by SDS-PAGE in a 12% polyacrylamide gel. The proteins were then extracted from the gel and digested with trypsinized. The resulting peptides were separated by nano-HPLC using an acetonitrile gradient and identified by Q-TOF mass spectrometry on a Maxis Impact II Instrument (Bruker, Germany). Mascot software was used to search against the NCBI nr 20140923 database (49,710,996 sequences; 17,838,311,419 residues).

Zymographic analysis

The ability of the enzymatic extract to hydrolyze casein was evaluated by SDS-PAGE in a 4-20% gel copolymerized with 0.1% (w/v) sodium caseinate (Sigma, cat. #C8654, Germany) incorporated as a substrate. The enzymatic extract was mixed with SDS-PAGE sample buffer (125 mM Tris-HCl pH 6.8, 4% of SDS, 0.002% of bromophenol blue, and 20% of glycerol) at a sample-to-buffer ratio of 4:6. The sample was not boiled before loading onto the gel, and β -mercaptoethanol was not before electrophoresis.

Preparation of cheese from cow's milk

Laboratory-scale cheese production was performed according to ref. [20], with some modifications. Starter cultures and salt were excluded from the procedure. The purpose of this exclusion was to evaluate only the effect of the enzymatic extract of *B. paralicheniformis* T7 on the cheese production. Cheese was prepared from 1 L of fresh cow's milk. Milk components were quantified using a Lactan 600 Ultra Milk Analyzer (Sibagropribor Ltd.). The milk was pasteurized at 75 °C for 30 s. After that, 100 mL of enzymatic extract was added, and the mixture was incubated at 37 °C until a clot formed, which was then cut into 1 cm cubes. At the end of the incubation, whey was separated from curd, and the amount of whey was recorded. The curd was pressed with a 2 kg weight for 4 h at 22 °C. After pressing, the cheese yield (g) was recorded. The moisture content of the cheese was measured using an Infrared Moisture Determination Balance MD 83 and recorded.

Software and statistical analysis

All experiments were conducted independently in triplicate. For quantitative assays, mean values and standard deviations (SD) were calculated using GraphPad Prism 8.0.1 software. Specific activity is presented as the mean, whereas other parameters are shown as the mean \pm SD ($n = 3$).

Results and Discussion

The strain isolated from the soil formed beige, large, convex colonies with irregular edges and a viscous consistency on nutrient agar after 24 h of cultivation (Figure 1a). When the strain was cultivated in nutrient broth, the cells formed a surface film and a flocculent precipitate. The skim milk agar test revealed that the strain exhibited proteolytic activity (Figure 1b).

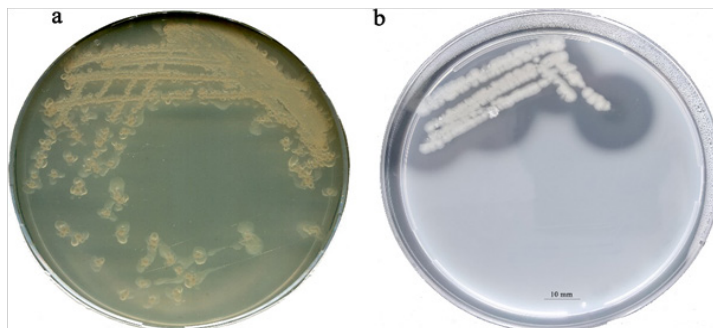


Figure 1 – Colonies of *B. licheniformis* on nutrient agar (a) and skim milk (b) plate

Clear zones measuring 11-14 mm formed around the colonies due to the hydrolysis of milk proteins such as casein and were clearly visible on the plate. The cells were found to be Gram-positive. Sequencing of a fragment of the 16S rRNA gene and comparison with GenBank data confirmed that the strain belonged to *Bacillus paralicheniformis*, with 100% identity.

Cultivation of *B. paralicheniformis* T7 on feather medium showed complete degradation of feathers within 7 days (Figure 2 a, b). Measurement of proteolytic activity in the nutrient medium showed that the accumulation of proteases in the medium was not linear. Cultivation of the strain in feather broth showed that the maximum proteolytic activity was reached after 72 h of cultivation, and the activity of the enzymatic extract from *B. paralicheniformis* T7 was found to be 715.7 ± 40.2 U/mL (Figure 2c).

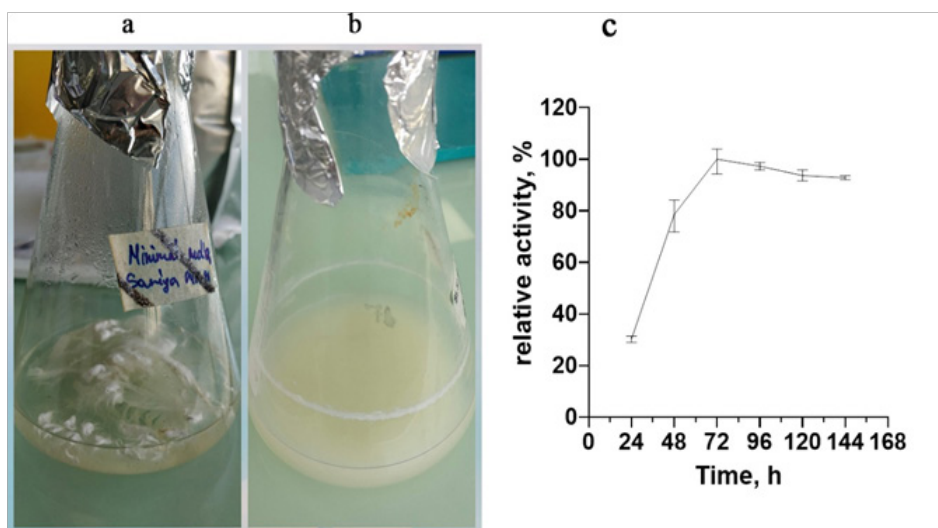


Figure 2 – Feathers at the beginner (a) and at the end (b) of cultivation *B. paralicheniformis* T7
Depending of proteolytic activity of *B. paralicheniformis* T7 on the cultivation time (c)

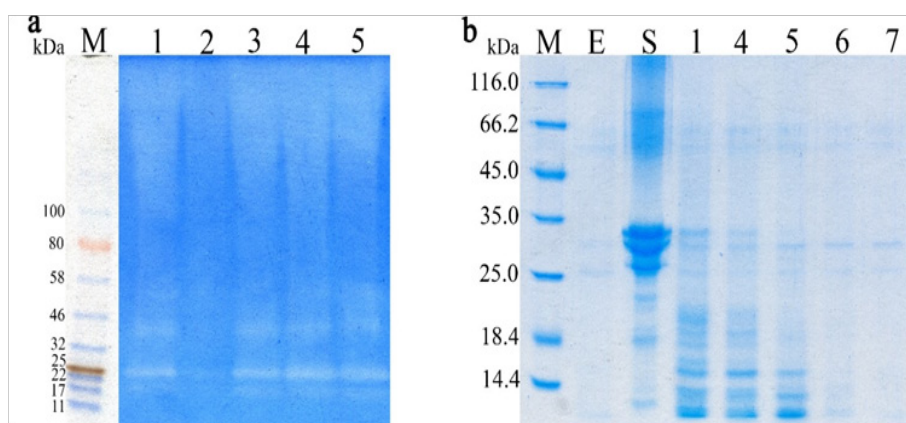
A study of the enzymatic activity of the extract showed that, in addition to high protease activity, the *Bacillus paralicheniformis* T7 strain also exhibited amylase, esterase, lipase, phosphatase, myo-inositol phosphohydrolase and lactase activity (Table 1).

Table 1 – Enzymatic activity of the supernatant from *Bacillus paralicheniformis* T7 after submerged fermentation. All measurements were performed independently in triplicate, and the mean of the three replicates is presented as the reported value with standard deviation (\pm SD).

Type of enzyme	Substrate	Activity (U/mL)
Protease	Azocasein	715.7 \pm 40.2
Milk clotting	Cow milk	5.8 \pm 0.1
Amylase	Potato starch	176.1 \pm 16.3
Esterase	p-nitrophenyl acetate	24.3 \pm 0.4
	p-nitrophenyl butyrate	57.8 \pm 0.4
Lipase	p-nitrophenyl decanoate	17.5 \pm 0.8
Phosphatase	p-nitrophenyl phosphate disodium salt 6-hydrate	11.9 \pm 0.6
Myo-inositol phosphohydrolase	Phytic acid sodium salt hydrate	0.3 \pm 0.03
Lactase	Lactose	0.02 \pm 0.01

The zymographic analysis revealed that the enzymatic extract of *B. licheniformis* T7 contains caseinolytic proteases (Figure 3a). The activity of the enzymatic extract of *B. licheniformis* T7 was inhibited by PMSF, but not by EDTA, Pepstatin A, or E64. Six peptidases and proteases were identified in the enzymatic extract by HPLC-Q/TOF mass spectrometry and Mascot analysis: bacillopeptidase F of *B. licheniformis* (155 kDa), peptidase S8 of *B. licheniformis* (67.7 kDa), aminopeptidase of *Bacillus* spp. (38.2 kDa), peptidase M14 of *Bacillus* spp. (60.7 kDa) and serine protease of *Bacillus* spp. (48.3 kDa) and protease Subtilisin (38.9 kDa) of *B. licheniformis*. In addition, α -amylase AmyS (55.2 kDa), alkaline phosphatase (59.8 kDa), and a GDSL-type esterase/lipase family protein (26.8 kDa) were identified in the enzymatic extract by HPLC-Q/TOF mass spectrometry.

The combined proteolytic activity of these enzymes contributed to the rapid hydrolysis of casein (Figure 3b). One microgram of the sodium caseinate began to degrade after 15 s of digestion by the enzymatic extract and was completely hydrolyzed after 90 s.



with EDTA, lane 4 - the enzyme extract with Pepstatin A, lane 5 - the enzyme extract with E64
 Figure 3 – The zymogram with copolymerized casein for enzyme extract of *B. paralicheniformis* T7

Along with proteolytic activity, the enzymatic extract also showed milk-clotting activity. Testing of milk-clotting activity on five types of milk showed that the enzymatic extract of *B. paralicheniformis* T7 exhibited coagulation activity toward cow's and ewes' milk, but did not show this activity toward goat's, camel's, or mare's milk. The milk-clotting activity toward cow's and ewes' milk was 12 and 23 U/mL, respectively. These results indicate that the milk-clotting activity of the extract is two times higher toward ewes' milk than toward cow's milk.

The milk-clotting activity of the enzymatic extract from *B. licheniformis* T7 was also tested for clot formation in fresh cow's milk. The milk had the following characteristics: fat - 4.76%, protein - 2.96%,

lactose - 4.36%, and total solids - 12.68%. A clot was obtained from 300 mL using 300 units of the enzymatic extract within 34 minutes at 37 °C. The clot was firm; after cutting, whey separated from the curd (Figure 4a), and after kneading and further whey separation, a cheese mass was formed (Figure 4b), which, after pressing, took the form of cheese (Figure 4c). The resulting cheese was firm, white, odorless and tasteless. Measurements showed that the yield of cheese and whey were 173 g and 780 mL, respectively. The moisture content of the cheese was 34%.

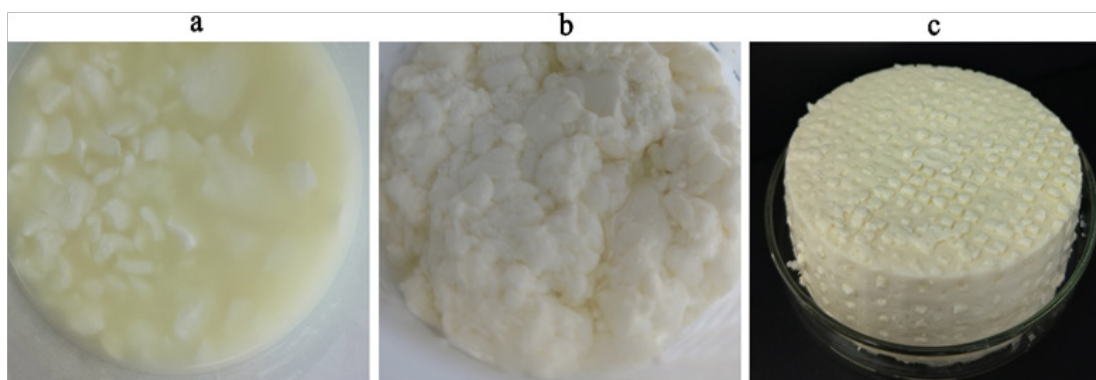


Figure 4 – Cheese from cow's milk prepared by the enzyme extract from *B. paralicheniformis* T7

Bacilli species are well-known producers of proteolytic enzymes. In nature, bacilli occupy various ecological niches, including soil, water, plants [1]. The high productivity of *Bacillus* makes these bacteria leading candidates in biotechnology as enzyme-producing strains [21].

In the present study, a strain identified by molecular genetic methods as *Bacillus paralicheniformis* T7 and possessing proteolytic properties was isolated from the soil of southern Kazakhstan.

The isolated strain showed high proteolytic activity, which was manifested in the complete degradation of the robust β -keratin protein. By culturing *B. paralicheniformis* T7 on minimal saline medium containing feathers as the sole source of organic matter, complete degradation of chicken feathers was achieved. The degradation of barbs and barbules continued throughout the incubation period and resulted in complete exposure of the shaft, while the culture became milky.

When cultured on salt medium with feathers, strain *B. paralicheniformis* T7 produced proteases with a total activity of 715.7 ± 40.2 , which exceeds that reported for several known bacterial strains. For example, *Bacillus* sp. CL33A produced proteases with an activity 248 U/mL [22], *Bacillus* sp. A5.3 showed an activity of 158.8 ± 2.5 U/mL [23], the activity of *B. licheniformis* BL312 was $49.4 \pm$ U/mL [24], the extract from *B. pumilus* D3 had an activity of 78.3 U/mL [25], and *B. cereus* VITSN04 showed an activity of 167.07 ± 0.30 U/mL [26]. Proteases secreted by *Deinococcus radiodurans* R1 had an activity of 110 U/mL [27]. Testing of proteases from *B. paralicheniformis* T7 with inhibitors, together with zymographic analysis, showed that proteases belong to the serine protease family, because their activity was inhibited only by PMSF and not by EDTA, pepstatin A, or E64. Serine proteases are known to be a common type of proteolytic enzyme in members of the genus *Bacillus* [1]. In addition to proteases, *B. paralicheniformis* T7 also secretes other hydrolases, including amylase, esterase, lipase, phosphatase myo-inositol phosphohydrolase, lactase, thus acting as a strain with multienzyme activity.

Among the proteases identified by proteomic analysis in the secretory proteome of *B. paralicheniformis* T7 were enzymes also found in other [28-32]. Their high activity ensures rapid hydrolysis of casein in a very short time: 1 mg of the soluble caseinate was completely hydrolysed within 1.5 min. This high activity against casein makes the enzymatic extract from *B. paralicheniformis* T7 similar to proteases from *Bacillus* sp. A5.3 which hydrolyzed the casein within 1 min [23]. However, unlike *Bacillus* sp. A5.3, proteases from *B. paralicheniformis* T7 also have milk-clotting activity, which is known to be substrate-specific process. The coagulation of milk requires hydrolysis of κ -casein, which ensures the stability of the entire casein complex in milk [33]. For example, the aspartic protease chymosin (EC 3.4.23.4) hydrolyzes the peptide bond between Phe105 and Met106 in κ -casein, which leads to destabilization of the casein micelle and, consequently, to milk coagulation [16]. In addition to the aspartic protease chymosin, serine proteases and pepsin-like fungal enzymes also exhibit milk-

clotting activity and are used in cheese making [34]. Among bacteria, in addition to *B. paralicheniformis* T7, proteases from *B. subtilis* YB-3 [35], *B. subtilis* MTCC 10422 [36], *B. amyloliquefaciens* D4 [37], *B. licheniformis* T7 USC13 [38] and *B. amyloliquefaciens* JNU002 [39] have also shown milk-clotting activity.

The use of the enzymatic extract in laboratory cheese production made it possible to achieve a yield of 17% at a moisture content of 34%, which is a good indicator and confirms the applicability of the extract from *B. paralicheniformis* T7 in cheese making. The presence of hydrolases such as esterases, lipases, phosphatases, and lactases in the enzyme extract allows for more thorough processing of the casein curd. Esterases preferentially hydrolyze water-soluble esters of short-chain fatty acid (<10 carbon atoms), whereas lipases exhibit activity primarily toward insoluble long-chain triglycerides (>10 carbon atoms). By breaking down short-chain substrates, esterases influence cheese aroma, while lipases, by hydrolyzing milk fat, may affect fat composition and improve cheese flavor. Lactases hydrolyze milk sugar (lactose), releasing galactose and glucose, which also influences the flavor of cheese. Phosphatases act on milk phospholipids, which make up approximately 0.03% of the total composition, and are also involved in the biochemical processes of cheese ripening. Thus, the obtained results indicate the potential of the enzyme extract from *B. paralicheniformis* T7 as a multienzyme preparation for use in cheese production. Increasing milk volumes create a need for its processing into durable products such as cheese. The growing demand for cheese makes it necessary to find new sources of inexpensive enzymes. The high productivity of alkaline and thermostable proteases with strong proteolytic properties, combined with milk-clotting activity, allows us to propose strain *B. paralicheniformis* T7 as a new source of proteolytic enzymes.

Conclusion

Bacillus paralicheniformis T7 is a new strain that secretes proteolytic enzymes. The enzymatic extract of *B. paralicheniformis* T7 has a high caseinolytic activity of 715.7 ± 40.2 U/mL under optimal conditions and a milk-clotting activity of 12 and 23 U/mL toward cow's and ewes' milk, respectively. The enzyme extract contains enzymes with caseinolytic activity that belong to the serine protease family. The enzymes secreted by strain *B. paralicheniformis* T7 exhibit milk-clotting activity toward cow's and ewes' milk and therefore have strong potential for cheese making, while *B. paralicheniformis* T7 itself is a promising strain for the production of proteolytic and milk-clotting enzymes.

Author Contributions

Conceptualization - K.B.; Methodology - A.S. and B.K.; Investigation- A.S., T.A., M.A., M.K. and U.A.; Writing, original draft preparation - B.K.; Writing-review and editing - K.B.; Visualization - A.S.; Supervision - K.B.; Project administration - K.B.; Funding acquisition - K.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Information of funding

This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grants No. AP23488270).

References

- 1 Contesini, F.J., Melo, R.R., Sato, H.H. (2018). An overview of *Bacillus proteases*: from production to application. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(3), 321-334. DOI:10.1080/07388551.2017.1354354.
- 2 Chatterjee, J., Giri, S., Maity, S., Sinha, A., Ranjan, A., Rajshekhar, G.S. (2015). Production and characterization of thermostable alkaline protease of *Bacillus subtilis* (ATCC 6633) from optimized solid-state fermentation. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 62(5), 709-718. DOI:10.1002/bab.1309.

- 3 Muras, A., Romero, M., Mayer, C., Otero, A. (2021). Biotechnological applications of *Bacillus licheniformis*. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 609-627. DOI:10.1080/07388551.2021.1873239.
- 4 Sharma, D., Uniyal, S., Tewari, L. (2021). Biocatalytic transesterification of algal oil employing a heterogenous methanol tolerant lipase enzyme aggregate from *Bacillus mycoides* strain CV18. *Process Biochemistry*, 111, 43-52. DOI: 10.1016/j.procbio.2021.10.005.
- 5 Zhao, T., Yong, X., Zhao, Z., Dolce, V., Li, Y., Curcio, R. (2021). Research status of *Bacillus* phytase. *3 Biotech*, 11(9), 415. DOI:10.1007/s13205-021-02964-9.
- 6 Santha Kalaikumari, S., Vennila, T., Monika, V., Chandraraj, K., Gunasekaran, P., Rajendhran, J. (2019). Bioutilization of poultry feather for keratinase production and its application in leather industry. *Journal of Cleaner Production*, 208, 44-53. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.10.076.
- 7 Akhtar, M.A., Butt, M.Q.S., Afroz, A., Rasul, F., Irfan, M., Sajjad, M., Zeeshan, N. (2024). Approach towards sustainable leather: Characterization and effective industrial application of proteases from *Bacillus* sps. for ecofriendly dehairing of leather hide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 266(Pt 1), 131154. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.131154.
- 8 Thakor, R., Mistry, H., Almoallim, H.S., Ansari, M.J., Patel, A., Yadav, V.K., Bariya, H. (2025). Enhanced Synthesis, Purification, and Characterization of a Marine Bacterial Consortium-Derived Protease Enzyme with Destaining and Keratinolytic Activity. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 72(4), 963-973. DOI:10.1002/bab.2711.
- 9 Aktayeva, S., Khassenov, B. (2024). New *Bacillus paralicheniformis* strain with high proteolytic and keratinolytic activity. *Scientific Reports*, 14(1), 22621. DOI:10.1038/s41598-024-73468-8.
- 10 Božić, N., Rozeboom, H.J., Lončar, N., Slavić, M., Janssen, D.B., Vujčić, Z. (2020). Characterization of the starch surface binding site on *Bacillus paralicheniformis* α -amylase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165(Pt A), 1529-1539. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.10.025.
- 11 Abdelgalil, S.A., Soliman, N.A., Abo-Zaid, G.A., Abdel-Fattah, Y.R. (2021). Dynamic consolidated bioprocessing for innovative lab-scale production of bacterial alkaline phosphatase from *Bacillus paralicheniformis* strain APSO. *Scientific Reports*, 11(1), 6071. DOI:10.1038/s41598-021-85207-4.
- 12 Ganesh Kumar, A., Hinduja, M., Sujitha, K., Nivedha Rajan, N., Dharani, G. (2021). Biodegradation of polystyrene by deep-sea *Bacillus paralicheniformis* G1 and genome analysis. *Science of the Total Environment*, 774, 145002. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145002
- 13 Ngom, S.I., Maski, S., Rached, B., Chouati, T., Oliveira Correia, L., Juste, C., Béra-Maillet, C. (2023). Exploring the hemicellulolytic properties and safety of *Bacillus paralicheniformis* as stepping stone in the use of new fibrolytic beneficial microbes. *Scientific Reports*, 13(1), 22785. DOI:10.1038/s41598-023-49724-8.
- 14 Roslan, M.A.M., Jefri, N., Ramlee, N., Rahman, N.A.A., Chong, N.H.H., Bunawan, H., Razali, H. (2021). Enhancing food waste biodegradation rate in a food waste biodigester with the synergistic action of hydrolase-producing *Bacillus paralicheniformis* GRA2 and *Bacillus velezensis* TAP5 co-culture inoculation. *Saudi Journal of Biological Science*, 28(5), 3001-3012. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.02.041.
- 15 Coêlho, D.F., Saturnino, T.P., Fernandes, F.F., Mazzola, P.G., Silveira, E., Tambourgi, E.B. (2016). Azocasein Substrate for Determination of Proteolytic Activity: Reexamining a Traditional Method Using Bromelain Samples. *BioMed Research International*, 2016(1), 8409183. DOI:10.1155/2016/8409183.
- 16 Akishev, Z., Kiribayeva, A., Mussakhmetov, A., Baltin, K., Ramankulov, Y., Khassenov, B. (2021). Constitutive expression of *Camelus bactrianus* prochymosin B in *Pichia pastoris*. *Heliyon*, 7(5), e07137. DOI:10.1016/j.heliyon.2021.e07137.
- 17 Kiribayeva, A., Silayev, D., Akishev, Z., Baltin, K., Aktayeva, S., Ramankulov, Y., Khassenov, B. (2024). An impact of N-glycosylation on biochemical properties of a recombinant α -amylase from *Bacillus licheniformis*. *Heliyon*, 10(6), e28064. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e28064.
- 18 Zhao, J., Ma, M., Yan, X., Zhang, G., Xia, J., Zeng, G., Gong, D. (2022). Expression and characterization of a novel lipase from *Bacillus licheniformis* NCU CS-5 for application in enhancing fatty acids flavor release for low-fat cheeses. *Food Chemistry*, 368, 130868. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130868.

- 19 Choi, Y.M., Suh, H.J., Kim, J.M. (2001). Purification and Properties of Extracellular Phytase from *Bacillus* sp. KHU-10. *Journal of Protein Chemistry*, 20(4), 287-292. DOI:10.1023/A:1010945416862.
- 20 Hayaloglu, A.A., Guven, M., Fox, P. (2002). Microbiological, biochemical and technological properties of Turkish White cheese 'Beyaz Peynir'. *International Dairy Journal*, 12, 635-648. DOI:10.1016/S0958-6946(02)00055-9.
- 21 Schallmeyer, M., Singh, A., Ward, O.P. (2004). Developments in the use of *Bacillus* species for industrial production. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(1), 1-17. DOI:10.1139/w03-076.
- 22 Torres de Oliveira, C., Rieger, T., Daroit, D. (2017). Catalytic properties and thermal stability of a crude protease from the keratinolytic *Bacillus* sp. CL33A. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10. DOI:10.1016/j.bcab.2017.04.004.
- 23 Aktayeva, S., Baltin, K., Kiribayeva, A., Akishev, Z., Silayev, D., Ramankulov, Y., Khassenov, B. (2022). Isolation of *Bacillus* sp. A5.3 Strain with Keratinolytic Activity. *Biology (Basel)*, 11(2). DOI:10.3390/biology11020244.
- 24 Zhang, Y., Xia, Y., Liu, X., Xiong, Z., Wang, S., Zhang, N., Ai, L. (2019). High-Level Expression and Substrate-Binding Region Modification of a Novel BL312 Milk-Clotting Enzyme to Enhance the Ratio of Milk-Clotting Activity to Proteolytic Activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 67(49), 13684-13693. DOI:10.1021/acs.jafc.9b06114.
- 25 Özçelik, B., Aytar, P., Gedikli, S., Yardımcı, E., Çalışkan, F., Çabuk, A. (2014). Production of an alkaline protease using *Bacillus pumilus* D3 without inactivation by SDS, its characterization and purification. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 29(3), 388-396. DOI:10.3109/14756366.2013.788503.
- 26 Sundararajan, S., Kannan, C.N., Chittibabu, S. (2011). Alkaline protease from *Bacillus cereus* VITSN04: Potential application as a dehairing agent. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 111(2), 128-133. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2010.09.009.
- 27 Dalmaso, G.Z., Lage, C.A., Mazotto, A.M., Dias, E.P., Caldas, L.A., Ferreira, D., Vermelho, A.B. (2015). Extracellular peptidases from *Deinococcus radiodurans*. *Extremophiles*, 19(5), 989-999. DOI:10.1007/s00792-015-0773-y.
- 28 Sloma, A., Rufo, G.A., Jr., Rudolph, C.F., Sullivan, B.J., Theriault, K.A., Pero, J. (1990). Bacillopeptidase F of *Bacillus subtilis*: purification of the protein and cloning of the gene. *Journal of Bacteriology*, 172(9), 5520-5521. DOI:10.1128/jb.172.9.5520-5521.1990.
- 29 Kwon, G.H., Park, J.Y., Kim, J.S., Lim, J., Park, C.S., Kwon, D.Y., Kim, J.H. (2011). Cloning and expression of a bpr gene encoding Bacillopeptidase F from *Bacillus amyloliquefaciens* CH86-1. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(5), 515-518. DOI:10.4014/jmb.1010.10061.
- 30 Tekin, A., Uzuner, U., Sezen, K. (2021). Homology modeling and heterologous expression of highly alkaline subtilisin-like serine protease from *Bacillus halodurans* C-125. *Biotechnology Letters*, 43(2), 479-494. DOI:10.1007/s10529-020-03025-6.
- 31 Huang, M., Chen, R., Ren, G. (2017). Secretory expression and purification of *Bacillus licheniformis* keratinase in insect cells. *PLoS One*, 12(8), e0183764. DOI: 10.1371/journal.pone.0183764.
- 32 Azrin, N.A.M., Ali, M.S.M., Rahman, R., Oslan, S.N., Noor, N.D.M. (2022). Versatility of subtilisin: A review on structure, characteristics, and applications. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69:6, 2599-2616. DOI:10.1002/bab.2309.
- 33 Fox, P.F., O'Connor, T.P., McSweeney, P.L., Guinee, T.P., O'Brien, N.M. (1996). Cheese: physical, biochemical, and nutritional aspects. *Advances in Food and Nutrition Research*, 39, 163-328. DOI:10.1016/s1043-4526(08)60075-3.
- 34 Johnson, M.E. (2017). A 100-Year Review: Cheese production and quality. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9952-9965. DOI:10.3168/jds.2017-12979.
- 35 Li, Y., Liang, S., Zhi, D., Chen, P., Su, F., Li, H. (2012). Purification and characterization of *Bacillus subtilis* milk-clotting enzyme from Tibet Plateau and its potential use in yak dairy industry. *European Food Research and Technology*, 234(4), 733-741. DOI:10.1007/s00217-012-1663-5.
- 36 Kumari Narwal, R., Bhushan, B., Pal, A., Panwar, A., Malhotra, S. (2016). Purification, physico-chemico-kinetic characterization and thermal inactivation thermodynamics of milk clotting enzyme from *Bacillus subtilis* MTCC 10422. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 652-660. DOI:10.1016/j.lwt.2015.08.065.

37 He, X., Zhang, W., Ren, F., Gan, B., Guo, H. (2012). Screening fermentation parameters of the milk-clotting enzyme produced by newly isolated *Bacillus amyloliquefaciens* D4 from the Tibetan Plateau in China. *Annals of Microbiology*, 62(1), 357-365. DOI:10.1007/s13213-011-0270-1.

38 Ageitos, J.M., Vallejo, J.A., Sestelo, A.B., Poza, M., Villa, T.G. (2007). Purification and characterization of a milk-clotting protease from *Bacillus licheniformis* strain USC13. *Journal of Applied Microbiology*, 103(6), 2205-2213. DOI:10.1111/j.1365-2672.2007.03460.x.

39 Ding, Z., Wang, W., Wang, B., Ouyang, A., Xiao, S., Wang, Y., Shi, G. (2012). Production and characterization of milk-clotting enzyme from *Bacillus amyloliquefaciens* JNU002 by submerged fermentation. *European Food Research and Technology*, 234(3), 415-421. DOI:10.1007/s00217-011-1650-2.

References

1 Contesini, F.J., Melo, R.R., Sato, H.H. (2018). An overview of *Bacillus proteases*: from production to application. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(3), 321-334. DOI:10.1080/07388551.2017.1354354.

2 Chatterjee, J., Giri, S., Maity, S., Sinha, A., Ranjan, A., Rajshekhar, G.S. (2015). Production and characterization of thermostable alkaline protease of *Bacillus subtilis* (ATCC 6633) from optimized solid-state fermentation. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 62(5), 709-718. DOI:10.1002/bab.1309.

3 Muras, A., Romero, M., Mayer, C., Otero, A. (2021). Biotechnological applications of *Bacillus licheniformis*. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 609-627. DOI:10.1080/07388551.2021.1873239.

4 Sharma, D., Uniyal, S., Tewari, L. (2021). Biocatalytic transesterification of algal oil employing a heterogenous methanol tolerant lipase enzyme aggregate from *Bacillus mycoides* strain CV18. *Process Biochemistry*, 111, 43-52. DOI:10.1016/j.procbio.2021.10.005.

5 Zhao, T., Yong, X., Zhao, Z., Dolce, V., Li, Y., Curcio, R. (2021). Research status of *Bacillus phytase*. *3 Biotech*, 11(9), 415. DOI:10.1007/s13205-021-02964-9.

6 Santha Kalaikumari, S., Vennila, T., Monika, V., Chandraraj, K., Gunasekaran, P., Rajendhran, J. (2019). Bioutilization of poultry feather for keratinase production and its application in leather industry. *Journal of Cleaner Production*, 208, 44-53. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.10.076.

7 Akhtar, M.A., Butt, M.Q.S., Afroz, A., Rasul, F., Irfan, M., Sajjad, M., Zeeshan, N. (2024). Approach towards sustainable leather: Characterization and effective industrial application of proteases from *Bacillus* sps. for ecofriendly dehairing of leather hide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 266(Pt 1), 131154. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2024.131154.

8 Thakor, R., Mistry, H., Almoallim, H.S., Ansari, M.J., Patel, A., Yadav, V.K., Bariya, H. (2025). Enhanced Synthesis, Purification, and Characterization of a Marine Bacterial Consortium-Derived Protease Enzyme with Destaining and Keratinolytic Activity. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 72(4), 963-973. DOI:10.1002/bab.2711.

9 Aktayeva, S., Khassenov, B. (2024). New *Bacillus paralicheniformis* strain with high proteolytic and keratinolytic activity. *Scientific Reports*, 14(1), 22621. DOI:10.1038/s41598-024-73468-8.

10 Božić, N., Rozeboom, H.J., Lončar, N., Slavić, M., Janssen, D.B., Vujčić, Z. (2020). Characterization of the starch surface binding site on *Bacillus paralicheniformis* α -amylase. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165(Pt A), 1529-1539. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2020.10.025.

11 Abdelgalil, S.A., Soliman, N.A., Abo-Zaid, G.A., Abdel-Fattah, Y.R. (2021). Dynamic consolidated bioprocessing for innovative lab-scale production of bacterial alkaline phosphatase from *Bacillus paralicheniformis* strain APSO. *Scientific Reports*, 11(1), 6071. DOI:10.1038/s41598-021-85207-4.

12 Ganesh Kumar, A., Hinduja, M., Sujitha, K., Nivedha Rajan, N., Dharani, G. (2021). Biodegradation of polystyrene by deep-sea *Bacillus paralicheniformis* G1 and genome analysis. *Science of the Total Environment*, 774, 145002. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.145002

13 Ngom, S.I., Maski, S., Rached, B., Chouati, T., Oliveira Correia, L., Juste, C., Béra-Maillet, C. (2023). Exploring the hemicellulolytic properties and safety of *Bacillus paralicheniformis* as stepping

stone in the use of new fibrolytic beneficial microbes. *Scientific Reports*, 13(1), 22785. DOI:10.1038/s41598-023-49724-8.

14 Roslan, M.A.M., Jefri, N., Ramlee, N., Rahman, N.A.A., Chong, N. H.H., Bunawan, H., Razali, H. (2021). Enhancing food waste biodegradation rate in a food waste biodigester with the synergistic action of hydrolase-producing *Bacillus paralicheniformis* GRA2 and *Bacillus velezensis* TAP5 co-culture inoculation. *Saudi Journal of Biological Science*, 28(5), 3001-3012. DOI:10.1016/j.sjbs.2021.02.041.

15 Coêlho, D.F., Saturnino, T.P., Fernandes, F.F., Mazzola, P.G., Silveira, E., Tambourgi, E.B. (2016). Azocasein Substrate for Determination of Proteolytic Activity: Reexamining a Traditional Method Using Bromelain Samples. *BioMed Research International*, 2016(1), 8409183. DOI:10.1155/2016/8409183.

16 Akishev, Z., Kiribayeva, A., Mussakhmetov, A., Baltin, K., Ramankulov, Y., Khassenov, B. (2021). Constitutive expression of *Camelus bactrianus* prochymosin B in *Pichia pastoris*. *Heliyon*, 7(5), e07137. DOI:10.1016/j.heliyon.2021.e07137.

17 Kiribayeva, A., Silayev, D., Akishev, Z., Baltin, K., Aktayeva, S., Ramankulov, Y., Khassenov, B. (2024). An impact of N-glycosylation on biochemical properties of a recombinant α -amylase from *Bacillus licheniformis*. *Heliyon*, 10(6), e28064. DOI:10.1016/j.heliyon.2024.e28064.

18 Zhao, J., Ma, M., Yan, X., Zhang, G., Xia, J., Zeng, G., Gong, D. (2022). Expression and characterization of a novel lipase from *Bacillus licheniformis* NCU CS-5 for application in enhancing fatty acids flavor release for low-fat cheeses. *Food Chemistry*, 368, 130868. DOI:10.1016/j.foodchem.2021.130868.

19 Choi, Y.M., Suh, H.J., Kim, J.M. (2001). Purification and Properties of Extracellular Phytase from *Bacillus* sp. KHU-10. *Journal of Protein Chemistry*, 20(4), 287-292. DOI:10.1023/A:1010945416862.

20 Hayaloglu, A.A., Guven, M., Fox, P. (2002). Microbiological, biochemical and technological properties of Turkish White cheese 'Beyaz Peynir'. *International Dairy Journal*, 12, 635-648. DOI:10.1016/S0958-6946(02)00055-9.

21 Schallmeyer, M., Singh, A., Ward, O.P. (2004). Developments in the use of *Bacillus* species for industrial production. *Canadian Journal of Microbiology*, 50(1), 1-17. DOI:10.1139/w03-076.

22 Torres de Oliveira, C., Rieger, T., Daroit, D. (2017). Catalytic properties and thermal stability of a crude protease from the keratinolytic *Bacillus* sp. CL33A. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10. DOI:10.1016/j.bcab.2017.04.004.

23 Aktayeva, S., Baltin, K., Kiribayeva, A., Akishev, Z., Silayev, D., Ramankulov, Y., Khassenov, B. (2022). Isolation of *Bacillus* sp. A5.3 Strain with Keratinolytic Activity. *Biology (Basel)*, 11(2). DOI:10.3390/biology11020244.

24 Zhang, Y., Xia, Y., Liu, X., Xiong, Z., Wang, S., Zhang, N., Ai, L. (2019). High-Level Expression and Substrate-Binding Region Modification of a Novel BL312 Milk-Clotting Enzyme to Enhance the Ratio of Milk-Clotting Activity to Proteolytic Activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 67(49), 13684-13693. DOI:10.1021/acs.jafc.9b06114.

25 Özçelik, B., Aytar, P., Gedikli, S., Yardımcı, E., Çalıřkan, F., Çabuk, A. (2014). Production of an alkaline protease using *Bacillus pumilus* D3 without inactivation by SDS, its characterization and purification. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 29(3), 388-396. DOI:10.3109/14756366.2013.788503.

26 Sundararajan, S., Kannan, C.N., Chittibabu, S. (2011). Alkaline protease from *Bacillus cereus* VITSN04: Potential application as a dehairing agent. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 111(2), 128-133. DOI:10.1016/j.jbiosc.2010.09.009.

27 Dalmaso, G.Z., Lage, C.A., Mazotto, A.M., Dias, E.P., Caldas, L.A., Ferreira, D., Vermelho, A.B. (2015). Extracellular peptidases from *Deinococcus radiodurans*. *Extremophiles*, 19(5), 989-999. DOI:10.1007/s00792-015-0773-y.

28 Sloma, A., Rufo, G.A., Jr., Rudolph, C.F., Sullivan, B.J., Theriault, K.A., Pero, J. (1990). Bacillopeptidase F of *Bacillus subtilis*: purification of the protein and cloning of the gene. *Journal of Bacteriology*, 172(9), 5520-5521. DOI:10.1128/jb.172.9.5520-5521.1990.

29 Kwon, G.H., Park, J.Y., Kim, J.S., Lim, J., Park, C.S., Kwon, D.Y., Kim, J.H. (2011). Cloning and expression of a bpr gene encoding Bacillopeptidase F from *Bacillus amyloliquefaciens* CH86-1. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21(5), 515-518. DOI:10.4014/jmb.1010.10061.

- 30 Tekin, A., Uzuner, U., Sezen, K. (2021). Homology modeling and heterologous expression of highly alkaline subtilisin-like serine protease from *Bacillus halodurans* C-125. *Biotechnology Letters*, 43(2), 479-494. DOI:10.1007/s10529-020-03025-6.
- 31 Huang, M., Chen, R., Ren, G. (2017). Secretory expression and purification of *Bacillus licheniformis* keratinase in insect cells. *PLoS One*, 12(8), e0183764. DOI:10.1371/journal.pone.0183764.
- 32 Azrin, N.A.M., Ali, M.S.M., Rahman, R., Oslan, S.N., Noor, N.D.M. (2022). Versatility of subtilisin: A review on structure, characteristics, and applications. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 69:6, 2599-2616 <http://doi:10.1002/bab.2309>.
- 33 Fox, P.F., O'Connor, T.P., McSweeney, P.L., Guinee, T.P., O'Brien, N.M. (1996). Cheese: physical, biochemical, and nutritional aspects. *Advances in Food and Nutrition Research*, 39, 163-328. DOI:10.1016/s1043-4526(08)60075-3.
- 34 Johnson, M.E. (2017). A 100-Year Review: Cheese production and quality. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9952-9965. DOI:10.3168/jds.2017-12979.
- 35 Li, Y., Liang, S., Zhi, D., Chen, P., Su, F., Li, H. (2012). Purification and characterization of *Bacillus subtilis* milk-clotting enzyme from Tibet Plateau and its potential use in yak dairy industry. *European Food Research and Technology*, 234(4), 733-741. DOI:10.1007/s00217-012-1663-5.
- 36 Kumari Narwal, R., Bhushan, B., Pal, A., Panwar, A., Malhotra, S. (2016). Purification, physico-chemico-kinetic characterization and thermal inactivation thermodynamics of milk clotting enzyme from *Bacillus subtilis* MTCC 10422. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 652-660. DOI:10.1016/j.lwt.2015.08.065.
- 37 He, X., Zhang, W., Ren, F., Gan, B., Guo, H. (2012). Screening fermentation parameters of the milk-clotting enzyme produced by newly isolated *Bacillus amyloliquefaciens* D4 from the Tibetan Plateau in China. *Annals of Microbiology*, 62(1), 357-365. DOI:10.1007/s13213-011-0270-1.
- 38 Ageitos, J.M., Vallejo, J.A., Sestelo, A.B., Poza, M., Villa, T.G. (2007). Purification and characterization of a milk-clotting protease from *Bacillus licheniformis* strain USC13. *Journal of Applied Microbiology*, 103(6), 2205-2213. DOI:10.1111/j.1365-2672.2007.03460.x.
- 39 Ding, Z., Wang, W., Wang, B., Ouyang, A., Xiao, S., Wang, Y., Shi, G. (2012). Production and characterization of milk-clotting enzyme from *Bacillus amyloliquefaciens* JNU002 by submerged fermentation. *European Food Research and Technology*, 234(3), 415-421. DOI:10.1007/s00217-011-1650-2.

***Bacillus paralicheniformis* T7 штамның ферментативті белсенділігі және оны ірімшік өндірісінде қолдану**

Актаева С., Турсунбекова А., Мусахметов А., Максүтова К., Усенбай А., Хасенов Б.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Қымбат емес сүт коагулянттарының қымбаттауы протеолитикалық микроорганизмдер арасында сүт түзетін ферменттердің жаңа көздерін іздеуді ынталандырады. Бұл жұмыстың мақсаты протеолитикалық белсенділігі бар штамды бөліп алу болды.

Материалдар мен әдістер. Бұл жұмыста *Bacillus paralicheniformis* T7 протеолитикалық штамды бөлініп алынды және анықталды. *B. paralicheniformis* T7 тұқымын қауырсынды ортада үш күн бойы өсіру арқылы протеолитикалық белсенділігі $715,7 \pm 40,2$ У/мл ферменттік сығынды алынды *B. paralicheniformis* штамның T7 протеолитикалық белсенділігінен басқа амилаза ($176,1 \pm 16,3$), эстераза ($24,3 \pm 0,4$), липаза ($17,5 \pm 0,8$) және фосфатаза ($11,9 \pm 0,6$) белсенділігі де бар.

Нәтижелер. Казеинді зимографиялық талдау сығындысында казеинолитикалық протеазалар бар екенін көрсетті. *B. paralicheniformis* T7 протеазалары 90 с ішінде 1 мг казеинді толығымен гидролиздендірді. HPLC-Q/TOF талдауы арқылы сығындыда алты протеаза, сондай-ақ эстераза, амилаза және фосфатаза анықталды. *B. paralicheniformis* сығындысы казеинолитикалық белсенділіктен басқа сүт ұю белсенділігіне ие, ол сиыр және қой сүті үшін сәйкесінше 12 және 23 бірлік/мл болды. Сырды жаңа сиыр сүтінен шығымдылығы 17% ферменттік сығынды арқылы жасайды.

Қорытынды. *B. paralicheniformis* Т7 штамын протеолитикалық ферменттердің жаңа көзі ретінде және оның протеазаларын ірімшік өнеркәсібінде сүт ұю ферменттері ретінде пайдалану перспективалы болып көрінеді.

Кілт сөздер: *Bacillus paralicheniformis*; фермент; протеаза; сүт коагуляциясы; ірімшік.

Ферментативная активность штамма *Bacillus paralicheniformis* Т7 и ее применение в производстве сыра

Актаева С., Турсунбекова А., Мусахметов А., МаксUTOва К., Усенбай А., Хасенов Б.

Аннотация

Предпосылки и цель. Увеличение стоимости недорогих коагулянтов молока стимулирует поиск новых источников молокообразующих ферментов среди протеолитических микроорганизмов. Целью данной работы было выделение штамма с протеолитической активностью.

Материалы и методы. В настоящей работе выделен и идентифицирован протеолитический штамм *Bacillus paralicheniformis* Т7. Путем культивирования *B. paralicheniformis* Т7 в течение трех суток на перьевой среде был получен ферментативный экстракт с протеолитической активностью $715,7 \pm 40,2$ Ед/мл. Штамм *B. paralicheniformis* Т7 помимо протеолитической активности обладает также амилазной ($176,1 \pm 16,3$), эстеразной ($24,3 \pm 0,4$), липазной ($17,5 \pm 0,8$) и фосфатазной ($11,9 \pm 0,6$) активностью.

Результаты. Зимографический анализ казеина показал, что экстракт содержит казеинолитические протеазы. Протеазы *B. paralicheniformis* Т7 полностью гидролизовали 1 мг казеина за 90 с. В экстракте с помощью ВЭЖХ-Q/TOF-анализа были идентифицированы шесть протеаз, а также эстераза, амилаза и фосфатаза. Помимо казеинолитической активности, экстракт *B. paralicheniformis* обладает молокосвертывающей активностью, которая составила 12 и 23 ед/мл для коровьего и овечьего молока соответственно. Сыр произведен из свежего коровьего молока с использованием ферментативного экстракта с выходом 17%.

Заключение. Представляется перспективным использование штамма *B. paralicheniformis* Т7 в качестве нового источника протеолитических ферментов и его протеаз в качестве молокосвертывающих ферментов в сыродельной промышленности.

Ключевые слова: *Bacillus paralicheniformis*; фермент; протеаза; свертывание молока; сыр.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. - № 1 (129). - Р.-243-253. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2138

УДК 630.272+630*231(574.24) (045)

Исследовательская статья

Динамика естественного возобновления *Betula pendula* Roth и *Populus tremula* L в Айыртауском филиале ГНПП «Кокшетау»

Курмангожинов А.Ж.¹ , Мукантаев Е.А.¹ , Wei Xue² , Жумай Е.³ , Казангапова Н.Б.¹ 
Жумагулова М.С.¹ 

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина
Астана, Казахстан

²Синьцзянский университет, Урумчи, КНР

³Государственный национальный природный парк «Кокшетау, Кокшетау, Казахстан»

Автор-корреспондент: Курмангожинов А.Ж.: a.kurmangozhinov@kazatu.edu.kz

Соавторы: (1: EM) ymukantev@bk.ru; (2: XW) xuewei@lzu.edu.cn

(3: EJ) erlanzhumai@gmail.com; (4: HK) n.kazangapova@kazatu.edu.kz

(5: MJ) madinazhumagulova98@gmail.com

Получено: 30.01.2026 **Принято:** 13.03.2026 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. Леса ГНПП «Кокшетау» играют ключевую роль в поддержании экологического баланса лесостепной зоны Северного Казахстана. Естественное возобновление после рубок является основой их устойчивости, однако пространственные закономерности и факторы успешности этого процесса на территории Айыртауского филиала остаются недостаточно изученными. Цель исследования – провести комплексную оценку состояния, пространственной дифференциации и ведущих факторов естественного возобновления берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) и осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) на участках, нарушенных рубками.

Материалы и методы. Работа выполнена в 2025 году на территории Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау». На участках, пройденных рубками в 2018-2022 гг., в трёх лесничествах – Сулы, Сырымбет и Ш. Уалихана – методом систематической выборки заложено 36 постоянных пробных площадей размером 25 м². Проведён сплошной переcчёт подроста с измерением его высоты и визуальной оценкой жизненного состояния (жизнеспособный, нежизнеспособный, сухой). Обработка данных включала расcчёт плотности, доли жизнеспособности, анализ высотной структуры, а также применение дисперсионного (ANOVA) и пост-хок (Тьюки) анализа в программной среде R 4.3.1 для выявления статистической значимости факторов.

Результаты. Установлено, что естественное возобновление в филиале характеризуется высокой интенсивностью: средняя плотность составляет 12 411 экз./га при доминировании осины (54% от общего количества подроста). Выявлена выраженная пространственная неоднородность. Диагностированы три контрастных сценария: 1) в лесничестве Сырымбет отмечена максимальная плотность подроста осины – 18 467 экз./га, однако его жизнеспособность была сравнительно низкой (78,5%), что указывает на процессы естественного изреживания; 2) лесничество Ш. Уалихана характеризовалось минимальной плотностью подроста – 7 767 экз./га, но высоким его качеством: жизнеспособность берёзы составила 97,8%; 3) лесничество Сулы демонстрировало сбалансированные средние показатели. Статистически подтверждено (p < 0,001), что жизнеспособный подрост имеет большую высоту, а берёза достоверно превышает осину по высоте во всех лесничествах.

Закключение. Естественное возобновление берёзы и осины в Айыртауском филиале протекает успешно, однако его характер и результативность определяются локальными условиями, формирующими различные сценарии восстановления. Для эффективного управления

процессами лесовосстановления рекомендован дифференцированный подход: в лесничестве Сырымбет целесообразно проведение рубок ухода в густых молодняках осины; в лесничестве Ш. Уалихана – применение мер по содействию естественному возобновлению; в лесничестве Сулы – поддержание режима наблюдения и мониторинга.

Ключевые слова: естественное лесовозобновление; *Betula pendula* Roth.; *Populus tremula* L.; плотность подроста; ГНПП «Кокшетау».

Введение

Леса национального парка «Кокшетау», расположенные в лесостепной зоне Северного Казахстана, выполняют важнейшие средообразующие, водоохранные и рекреационные функции. Берёза повислая (*Betula pendula* Roth.) и осина обыкновенная (*Populus tremula* L.) являются здесь доминирующими лесообразующими породами, играющими ключевую роль в пирогенных и демулационных сукцессиях после пожаров и рубок [1, 2]. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки и изменяющегося климата естественное возобновление этих пионерных видов становится критически важным процессом, определяющим устойчивость и долгосрочную динамику лесных экосистем на охраняемой территории.

В глобальном и региональном контексте стратегии лесовосстановления, основанные на спонтанных процессах с использованием пионерных видов, приобретают всё большее значение как альтернатива дорогостоящим искусственным посадкам, особенно на нарушенных землях [3, 4]. Берёза и осина, благодаря высокой экологической пластичности, скорости роста и адаптивности, признаны ключевыми видами для таких восстановительных сукцессий [5, 6]. Их способность быстро колонизировать открытые пространства и формировать начальные стадии леса хорошо изучена в общебиологическом плане [7, 8]. Однако успешность возобновления, его пространственная структура и качественные параметры в решающей степени зависят от локального сочетания эдафических условий, микрорельефа, характера нарушений и конкурентных отношений [9, 10].

Несмотря на общую изученность биологии берёзы и осины, пространственные закономерности и конкретные факторы, определяющие успешность их естественного возобновления на уровне отдельных лесничеств Айыртауского филиала, остаются недостаточно исследованными. Существующие работы по данной территории носят преимущественно общейнвентаризационный характер и не содержат глубокого статистического анализа, позволяющего количественно оценить силу и значимость различных лимитирующих факторов, таких как состав материнского древостоя, степень антропогенной дигрессии или проективное покрытие травянистого яруса [11]. Отсутствие таких детальных данных ограничивает возможности разработки научно обоснованных, дифференцированных мер управления для поддержания естественного лесовозобновления.

Таким образом, возникает очевидное противоречие между высокой экологической значимостью процессов естественного возобновления берёзы и осины для устойчивости лесных экосистем национального парка и недостаточной изученностью факторов, пространственно детерминирующих этот процесс на локальном уровне.

Материалы и методы

Район исследований. Работа выполнена в 2025 году на территории Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау» (Северо-Казахстанская область). Исследования проведены в трёх лесничествах: Сулы, Сырымбет-Тюктинское и Ш. Уалихана, характеризующихся различными почвенно-рельефными условиями и историей хозяйственного использования (рисунок 1).

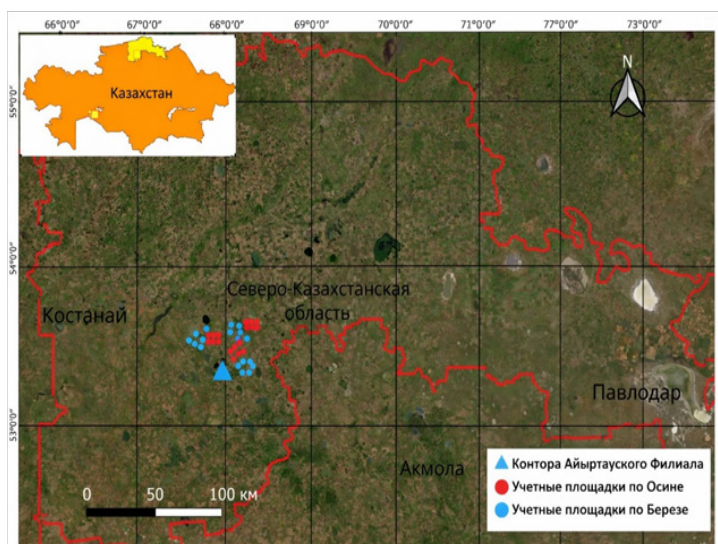


Рисунок 1 – Карта-схема Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау» с обозначением лесничеств (Сулы, Сырымбет, Ш. Уалихана) и мест закладки пробных площадей

Для характеристики условий произрастания подроста были проанализированы таксационные показатели насаждений в выделах, где закладывались пробные площади. Данные получены из материалов лесоустройства Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау» и дополнены натурным обследованием. Характеристика лесных участков представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Таксационная характеристика лесных участков в местах закладки пробных площадей Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау»

Лесничество	Квартал	Выдел	Площадь, га	Состав древостоя	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Бонитет	Тип леса	Год рубки
Сулы	95	34	0,1	Болото низинное, осоковое	–	–	–	–	–	2021
	92	201	1,1	10Б	65	18	22	3	Б ₁	2021
Сырымбет	93	77	14	8Б2Ос	50-60	17-18	18-20	3	Б ₁	2021
	89	55	9,4	7Б3Ос	45-50	15-16	18-20	4	Б ₁	2018
Ш. Уалихана	155	53	1,4	10Б	40	13	16	3	Б ₁	2020
	155	54	1,2	10Б (редина)	45	13	14	4	Б ₁	2021

Примечание: Состав древостоя указан в долях участия пород (Б - берёза, Ос - осина). Б₁ - березняк разнотравный (тип леса). Прочерк (–) означает отсутствие данных или неприменимость характеристики.

Как следует из таблицы 1, все пробные площади заложены в березняках разнотравных (тип леса Б₁) с различной долей участия осины в составе древостоя (от чистых березняков до смешанных 8Б2Ос и 7Б3Ос). Возраст материнских древостоев варьирует от 40 до 65 лет, бонитет – III-IV классы. Участки пройдены рубками в разные годы (2018-2021), что позволяет оценить влияние давности рубки на структуру подроста.

Учёт подроста на пробных площадях проводили согласно Правилам отвода и таксации лесосек на участках государственного лесного фонда, утверждённым приказом и.о. Министра сельского

хозяйства Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 18-02/161 [12]. Систематической выборки в типичных насаждениях с участием целевых пород заложено 36 квадратных пробных площадей (ПП) размером 5*5 м и площадью 25 м² (площадь 0,0025 га), по 12 на каждое из трёх лесничеств в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика пробных площадей лесничеств Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау»

Лесничество	№ уч. Площадки	Порода	№ квартала	№ выдела	Координаты
Сулы	1	Осина	95	34	53°26'34,27"N 67°51'36,28" E
	2	Осина	95	34	53°26'34,44" N 67°51'37,31" E
	3	Берёза	95	34	53°26'32,56" N 67°51'38,56" E
	4	Берёза	95	34	53°26'32,80" N 67°51'39,49" E
	5	Осина	92	201	53°27'18,19" N 67°51'51,10" E
	6	Осина	92	201	53°27'18,27" N 67°51'51,49" E
	7	Берёза	92	201	53°27'16,63" N 67°51'49,40" E
	8	Берёза	92	201	53°27'16,85" N 67°51'52,05" E
	9	Осина	92	201	53°27'16,69" N 67°51'51,27" E
	10	Осина	92	201	53°27'16,55" N 67°51'49,40" E
	11	Берёза	92	201	53°27'16,85" N 67°51'48,48" E
	12	Берёза	92	201	53°27'17,23" N 67°51'47,70" E
Сырымбет	13	Осина	93	77	53°19'20,68" N 68°4'59,59" E
	14	Осина	93	77	53°19'20,47" N 68°4'59,37" E
	15	Берёза	93	77	53°19'20,47" N 68°4'59,95" E
	16	Берёза	93	77	53°19'20,38" N 68°5'0,95" E
	17	Осина	93	77	53°19'18,80" N 68°4'59,08" E
	18	Осина	93	77	53°19'18,79" N 68°4'59,96" E
	19	Берёза	93	77	53°19'18,67" N 68°5'1,64" E
	20	Берёза	93	77	53°19'18,58" N 68°5'3,25" E
	21	Осина	89	55	53°19'13,83" N 68°5'16,64" E
	22	Осина	89	55	53°19'13,89" N 68°5'14,92" E
	23	Берёза	89	55	53°19'14,52" N 68°5'16,40" E
	24	Берёза	89	55	53°19'14,28" N 68°5'15,08" E
Ш. Уалихана	25	Осина	155	53	53°26'59,84" N 68°4'20,76" E
	26	Осина	155	53	53°26'59,49" N 68°4'21,44" E
	27	Осина	155	53	53°26'59,27" N 68°4'21,66" E
	28	Берёза	155	53	53°26'59,36" N 68°4'21,83" E
	29	Берёза	155	53	53°26'59,26" N 68°4'21,95" E
	30	Берёза	155	53	53°26'59,27" N 68°4'22,16" E
	31	Осина	155	54	53°26'54,36" N 68°4'16,24" E
	32	Осина	155	54	53°26'54,20" N 68°4'15,92" E
	33	Осина	155	54	53°26'53,88" N 68°4'15,49" E
	34	Берёза	155	54	53°26'53,53" N 68°4'15,37" E
	35	Берёза	155	54	53°26'53,36" N 68°4'15,15" E
	36	Берёза	155	54	53°26'53,42" N 68°4'15,89" E

Пробные площади закладывались на участках, подвергшихся рубкам в прошлые годы. Это позволило сосредоточить внимание на процессах естественного возобновления.

На каждой ПП проводился:

1. Сплошной переcчёт подростa, разделённый на 3 группы в зависимости от высоты: мелкий (до 0,5 м), средний (0,51-1,5 м), крупный (более 1,51 м).

2. Визуальная оценка жизненного состояния каждого экземпляра с отнесением к категориям: Ж - жизнеспособный (свежая хвоя/листва, нормальный прирост), Н - нежизнеспособный (угнетённый, с признаками усыхания), С - сухой.

3. Фиксация таксационных показателей материнского древостоя.

Всего учтено 1151 экземпляр подростa (осины - 620, берёзы - 531). Камеральная обработка и статистический анализ. Для каждого лесничества и в целом по филиалу рассчитаны:

- Плотность подростa (тыс. шт./га).

- Процентное распределение по высотным категориям: малый (<1,0 м), средний (1,0-2,0 м), крупный (>2,0 м).

- Доля подростa по категориям жизнеспособности (жизнеспособный, нежизнеспособный, сухой).

Для проверки статистических гипотез использован дисперсионный анализ. Тестировалось влияние факторов пород осины и берёзы и состояние (жизнеспособный, нежизнеспособный, сухой) на зависимую переменную высоты подростa. Оценка силы влияния факторов проводилась с помощью показателя эта-квадрат (η^2). Для post-hoc сравнений применялся тест Тьюки. Выполнена проверка условий применимости моделей (нормальность остатков - тест Шапиро-Уилка, гомогенность дисперсий - тест Левене).

Результаты и обсуждение

Анализ общих показателей по филиалу показал, что в естественном возобновлении после рубок абсолютно доминирует осина (*Populus tremula* L.), численность подростa которой на 15% превышает таковую у берёзы (599 против 518 экз.), а плотность - на 16% (13,3 и 11,5 тыс. шт./га). Данное преобладание закономерно и обусловлено эффективной стратегией корнеотпрыскового возобновления осины, обеспечивающей быстрое заселение нарушенных территорий [6, 16]. Таким образом, осина выполняет ключевую пионерную функцию, формируя первичный древесный полог и подготавливая условия для дальнейших сукцессионных смен. Можно прогнозировать, что по мере развития насаждения и усиления конкурентных отношений текущее соотношение пород может измениться в сторону увеличения доли берёзы.

Анализ пространственного распределения показателей возобновления как показано в Таблице 3, выявил значительные различия между лесничествами. Наибольшей средней плотностью подростa осины характеризовалось лесничество Сырымбет $18,47 \pm 1,64$ тыс. шт./га, берёзы - лесничество Сулы $16,20 \pm 1,05$ тыс. шт./га. При этом стоит отметить высокую вариабельность (SD) плотности берёзы в Сырымбете, свидетельствующую о её неравномерном распределении. Качественные показатели подростa также различались: доля жизнеспособного подростa берёзы достигала $98,9 \pm 1,5\%$ в Сырымбете и $97,8 \pm 1,8\%$ в Ш. Уалихана, демонстрируя его отличное состояние на большей части территории. Для осины максимальная жизнеспособность отмечена в Ш. Уалихана ($90,8 \pm 2,3\%$). Для осины выявлены статистически значимые различия между лесничествами: плотность подростa в Сырымбете существенно выше, чем в Сулах и Ш. Уалихана. Для берёзы также имеются значимые различия: плотность в Сулах значимо выше, чем в Ш. Уалихана; другие пары не различаются на уровне 0,05.

Таблица 3 – Показатели плотности подростa осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) и берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесничествах Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау»

Лесничество	Плотность, тыс. шт./га		
	Осина (M ± SD)	Береза (M ± SD)	Средняя плотность
Сулы	12,07± 1,97	16,20± 1,05	14,13
Сырымбет	18,47± 1,64	12,20± 2,89	15,33
Ш. Уалихана	9,4± 1,6	6,13± 1,95	7,77

Примечание: M - среднее арифметическое; SD - стандартное отклонение. Показатели «Средняя плотность» рассчитан как средняя плотность подростa обеих пород на совокупности всех пробных площадей в каждом лесничестве.

Таблица 4 – Показатели жизнеспособности подроста осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) и берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесничествах Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау»

Лесничество	Порода	Общее количество, экз.	Жизнеспособный (Ж), %	Нежизнеспособный (Н), %	Сухой (С), %
Сулы	Осина	191	85,9	8,9	5,2
	Берёза	255	81,6	13,7	4,7
	Всего	446	83,4	11,7	4,9
Сырымбет	Осина	288	78,5	17,7	3,8
	Берёза	184	99,0	0,5	0,5
	Всего	472	86,4	11,1	2,5
Ш. Уалихана	Осина	141	90,8	9,2	-
	Берёза	92	97,8	2,2	-
	Всего	233	93,6	6,4	-

Примечание: *M* - среднее арифметическое; *SD* - стандартное отклонение. Показатели строки «Всего» рассчитаны как суммарное количество экземпляров и средневзвешенные значения доли жизнеспособного, нежизнеспособного и сухого подроста для всех пород. Проверк (-) означает отсутствие подроста данной категории.

Анализ показателей жизнеспособности подроста осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) и берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) в лесничествах Айыртауского филиала (таблица 4) выявил существенные различия как в общем количестве, так и в состоянии подроста. В лесничестве Сулы общее количество учтённого подроста составило 446 экземпляров, из которых 83,4% жизнеспособны, 11,7% нежизнеспособны и 4,9% сухие. Доля жизнеспособных экземпляров у осины составила 85,9%, у берёзы - 81,6%. При этом у берёзы отмечена более высокая доля нежизнеспособного подроста 13,7% по сравнению с осинной 8,9%.

В лесничестве Сырымбет общее количество подроста достигло 472 экземпляров - наибольшего значения среди исследуемых лесных участков. Доля жизнеспособного подроста в целом составила 86,4%, нежизнеспособного - 11,0%, сухого - 2,5%. У осины доля жизнеспособных растений составила 78,5%, тогда как у берёзы отмечен значительно более высокий показатель – 99,0%, при минимальной доле нежизнеспособных 0,5% и сухих 0,5% экземпляров.

В лесничестве имени Ш. Уалиханова учтено 233 экземпляра подроста – наименьшее количество среди исследованных лесничеств. При этом для подроста характерна высокая доля жизнеспособных растений - 93,6%, тогда как доля нежизнеспособных составляет 6,4%. Жизнеспособность осины достигает 90,8%, берёзы - 97,8%, что свидетельствует о благоприятных условиях для роста сохранившихся растений на данном участке.

Для оценки влияния факторов породы осины, берёзы и состояния (жизнеспособный, нежизнеспособный, сухой) на высоту подроста был проведён двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Предварительная проверка условий применимости модели подтвердила гомогенность дисперсий: тест Левене для фактора «Порода» показал $F = 2,34$ ($p = 0,126$), для фактора «Состояние» – $F = 1,87$ ($p = 0,154$). Распределение остатков соответствовало нормальному закону (тест Шапиро-Уилка: $W = 0,992$, $p = 0,08$ для лесничества Сулы); для остальных групп незначительные отклонения не влияют на устойчивость ANOVA при больших выборках.

Установлено статистически значимое влияние обоих факторов на высоту подроста ($p < 0,001$). Размер эффекта (η^2) для фактора «Порода» составил 0,141, что соответствует большому вкладу (14,1% объяснённой дисперсии); для фактора «Состояние» $\eta^2 = 0,092$ (средний эффект, 9,2% объяснённой дисперсии). Взаимодействие факторов оказалось статистически незначимым ($p = 0,068$), что свидетельствует об одинаковом характере влияния состояния на рост обеих пород.

Post-hoc тест Тьюки показал, что берёза достоверно выше осины в среднем на 0,54 м ($p < 0,001$). Жизнеспособный подрост значимо превышает по высоте нежизнеспособный (на 0,47 м) и

сухой (на 0,52 м) ($p < 0,001$). Различий между нежизнеспособным и сухим подростом не выявлено ($p = 0,78$).

В целом результаты исследования показывают, что во всех лесничествах преобладает жизнеспособный подрост (более 80%), что свидетельствует о благоприятных условиях для естественного восстановления осины и берёзы. Наиболее высокая общая жизнеспособность подростка отмечена в лесничестве Ш. Уалихана 93,6%, тогда как наибольшее количество подростка зарегистрировано в Сырымбете лесничестве 472 экземпляров. Это указывает на различия в условиях произрастания и динамике естественного возобновления древесных пород на исследуемой территории. При высокой общей жизнеспособности подростка в Сырымбете (86,4%) выявлена закономерная обратная связь между плотностью и жизнеспособностью для осины: максимальная плотность подростка осины (18,47 тыс. шт./га) сопровождается минимальной долей жизнеспособных экземпляров ($78,5 \pm 10,5\%$) и максимальной долей нежизнеспособных (17,7%). Данная ситуация является классическим проявлением внутривидовой конкуренции и естественного изреживания в перегущённых молодняках [13, 14].

Таблица 5 – Распределение подростка осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) и берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) по высотным категориям в лесничествах Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау», %

Лесничество	Порода	Общее количество, экз.	Малый (<0,5 м), %	Средний (0.51-1,5 м), %	Крупный (>1,51 м), %
Сулы	Осина	181	0,6	64,6	34,8
	Берёза	243	2,1	56,8	41,2
	Всего	424	1,4	60,1	38,4
Сырымбет	Осина	277	0,4	88,5	11,2
	Берёза	183	-	16,9	83,1
	Всего	460	0,2	60,0	39,8
Ш. Уалихана	Осина	141	-	12,1	87,9
	Берёза	92	-	-	100
	Всего	233	-	7,3	92,7

Лесничество Ш. Уалихана характеризуется экстремальным доминированием крупного подростка: для берёзы этот показатель составляет 100%, для осины - 87,9% в таблице 5. Данная высотная структура, вероятно, обусловлена более ранним сроком проведения рубок в этом лесничестве по сравнению с другими, что обеспечило больший временной период для роста подростка. Отсутствие мелкого и незначительная доля среднего подростка (7,3%) указывают на возможные затруднения в последующем возобновлении на данных участках.

Заключение

Естественное возобновление берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) и осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) в Айыртауском филиале ГНПП «Кокшетау» характеризуется высокой интенсивностью: средняя плотность подростка составляет 12 411 экз./га, а доля жизнеспособных растений - 86,7% от общего количества учтённых экземпляров ($n = 1151$). Осина, благодаря эффективной корнеотпрысковой стратегии, является абсолютно доминирующей пионерной породой на нарушенных рубками участках, формируя основу для начальной стадии восстановительной сукцессии.

Ключевым результатом исследования является выявление трёх контрастных сценариев возобновления, обусловленных локальными условиями:

- В лесничестве Сырымбет максимальная плотность подростка осины 18 467 экз./га сопровождается признаками интенсивной внутривидовой конкуренции и естественного изреживания (низкая жизнеспособность - 78,5%, доминирование среднего подростка - 88,5%);

- В лесничестве Ш. Уалихана крайне низкая общая плотность 7 767 экз./га сочетается с высоким качеством сохранившегося подроста: жизнеспособность берёзы достигает 97,8%, осины - 90,8%, при полном отсутствии сухого подроста и доминировании крупных особей у берёзы - 100%, у осины - 87,9%. Это свидетельствует о благоприятных условиях для роста, но наличии лимитирующих факторов на этапе появления нового возобновления;

- Лесничество Сулы характеризуется наиболее сбалансированными и устойчивыми показателями, что указывает на относительно стабильные условия для лесовозобновления.

Для эффективного управления процессами естественного лесовосстановления и обеспечения долгосрочной устойчивости лесных экосистем филиала необходим строго дифференцированный подход, учитывающий диагностированные сценарии: в Сырымбете рекомендованы неотложные рубки ухода (осветления) в густых молодняках осины; в Ш. Уалихана приоритетом должны стать мероприятия по содействию естественному возобновлению (минерализация почвы, ограничение антропогенной нагрузки) и, возможно, точечная посадка; для Сулы оптимальной стратегией является поддерживающий мониторинг и минимальное вмешательство, за исключением выборочного удаления сухостоя.

Вклад авторов

Все авторы принимали участие в сборе материала, его обработке и написании статьи. АК: общее руководство, написание текста, анализ данных; МЕ: сбор и обработка полевых данных, статистический анализ; Wei Xue: литературный обзор, редактирование; ЕЖ: подготовка картографического материала; НК: обработка данных, участие в написании; МЖ: литературный обзор, оформление библиографии. Все авторы участвовали в обсуждении результатов и одобрили финальную версию рукописи.

Благодарность

Авторы признательны за помощь и поддержку, оказанные при выполнении данной работы. Отдельная благодарность директору Айыртауского филиала ГНПП «Кокшетау» А.Х. Аскарову и специалисту научного отдела А.И. Ролеф за организационное содействие и помощь в проведении исследований на территории филиала.

Список литературы

- 1 Лесной кодекс Республики Казахстан от 8 июля 2003 года № 477.
- 2 Колданов, В.Я. (2007). *Лесоводство: учебник для вузов*. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 432.
- 3 Мелехов, И.С. (2002). *Лесоводство: учебник*. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУЛ, 408.
- 4 Grime, J.P. (2001). *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 456.
- 5 Oliver, C.D., Larson, B.C. (1996). *Forest Stand Dynamics*. New York: John Wiley & Sons, 520.
- 6 Brzezicki, B., Kienast, F. (1994). Classifying the life-history strategies of trees on the basis of the Grimian model. *Forest Ecology and Management*, 69(1-3), 167-187.
- 7 Myking, T., Böhler, F., Austrheim, G., Solberg, E.J. (2011). Life history strategies of aspen (*Populus tremula* L.) and browsing effects: a literature review. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 84(1), 61-71.
- 8 Pommerening, A., Murphy, S.T. (2004). A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 77(1), 27-44.
- 9 Урбанов, А.К., Иманбаева, А.А. (2019). Влияние рекреации на естественное возобновление в сосновых лесах Катон-Карагайского национального парка. *Лесное хозяйство*, 4, 34-39.
- 10 Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein S., Velling, P. (2010). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 83(1), 103-119.

- 11 Legendre, P., Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology*. 3rd English ed. Amsterdam: Elsevier, 1006.
- 12 Приказ и. о. Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 18-02/161 «Об утверждении Правил отвода и таксации лесосек на участках государственного лесного фонда». Зарегистрирован в Минюсте РК 10.04.2015 № 10693. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010693>.
- 13 Zenner, E.K., Puettmann, K.J. (2008). Contrasting Release Approaches for a Mixed Paper Birch (*Betula papyrifera*)–Quaking Aspen (*Populus tremuloides*) Stand. *Northern Journal of Applied Forestry*, 25(3), 124–132. DOI: 10.1093/njaf/25.3.124.

References

- 1 Lesnoi kodeks Respubliki Kazakhstan ot 8 iyulya 2003 goda № 477. (2003). [in Russ].
- 2 Koldanov, V.Ya. (2007). *Lesovodstvo: uchebnik dlya vuzov*. Moscow: GOU VPO MGUL, 432. [in Russ].
- 3 Melekhov, I.S. (2002). *Lesovodstvo: uchebnik*. 3rd ed. Moscow: Izd-vo MGUL, 408. [in Russ].
- 4 Grime, J.P. (2001). *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 456.
- 5 Oliver, C.D., Larson, B.C. (1996). *Forest Stand Dynamics*. New York: John Wiley & Sons, 520.
- 6 Brzeziecki, B., Kienast, F. (1994). Classifying the life-history strategies of trees on the basis of the Grimean model. *Forest Ecology and Management*, 69(1-3), 167-187.
- 7 Myking, T., Böhler, F., Austrheim, G., Solberg, E.J. (2011). Life history strategies of aspen (*Populus tremula* L.) and browsing effects: a literature review. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 84(1), 61-71.
- 8 Pommerening, A., Murphy, S.T. (2004). A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 77(1), 27-44.
- 9 Urbanov, A.K., Imanbaeva, A.A. (2019). Vliyanie rekreatsii na estestvennoe vozobnovlenie v sosnovykh lesakh Katon-Karagaiskogo natsional'nogo parka. *Lesnoe hozyaistvo*, 4, 34-39. [in Russ].
- 10 Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein S., Velling, P. (2010). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 83(1), 103-119.
- 11 Legendre, P., Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology*. 3rd English ed. Amsterdam: Elsevier, 1006.
- 12 Prikaz i.o. Ministra sel'skogo khozyaystva Respubliki Kazakhstan ot 27 fevralya 2015 goda № 18-02/161 "Ob utverzhdenii Pravil otvoda i taksatsii lesosek na uchastkakh gosudarstvennogo lesnogo fonda" (Zaregistririvan v Ministerstve yustitsii Respubliki Kazakhstan 10 aprelya 2015 goda № 10693). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010693>. [in Russ].
- 13 Zenner, E.K., Puettmann, K.J. (2008). Contrasting release approaches for a mixed paper birch (*Betula papyrifera*)–quaking aspen (*Populus tremuloides*) stand. *Northern Journal of Applied Forestry*, 25(3), 124-132. DOI: 10.1093/njaf/25.3.124.

«Көкшетау» МҰТП Айыртау филиалында *Betula pendula Roth* және *Populus tremula L* табиғи қалпына келу динамикасы

Курмангожинов А.Ж., Мукантаев Е.А., Wei Xue, Жұмай Е., Казангапова Н.Б.
Жумагулова М.С.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. «Көкшетау» МҰТП ормандары Солтүстік Қазақстанның орманды дала аймағының экологиялық тепе-теңдігін сақтауда маңызды рөл атқарады. Орман кесулерінен кейінгі табиғи қалпына келу олардың тұрақтылығының негізі болып табылады, алайда Айыртау филиалы аумағында бұл процестің кеңістіктік заңдылықтары мен сәттілік факторлары жеткілікті зерттелмеген. Зерттеудің мақсаты бұзылған кесілген жерлердегі қайыңның (*Betula pendula Roth.*) және теректің (*Populus tremula L.*) табиғи қалпына келуінің жай-күйін, кеңістіктік саралануын және негізгі факторларын кешенді бағалау болды.

Материалдар мен әдістер. Жұмыс 2025 жылы «Көкшетау» МҰТП Айыртау филиалының аумағында орындалды. 2018-2022 жж. кесілген жерлерде үш орманшылықта (Сулы, Сырымбет, Ш. Уәлиханов) жүйелі іріктеу әдісімен 25 м² өлшемді 36 тұрақты сынақ алаңы құрылды. Өскіндердің биіктігін өлшей отырып, олардың тіршілік жағдайын (тіршілікке қабілетті, тіршілікке қабілетсіз, қураған) көзбен бағалай отырып, толық санағы жүргізілді. Деректерді өңдеу тығыздықты, тіршілікке қабілеттілік үлесін есептеуді, биіктік құрылымын талдауды, сондай-ақ факторлардың статистикалық маңыздылығын анықтау үшін R 4.3.1 бағдарламалық ортасында дисперсиялық (ANOVA) және пост-хок (Тьюки) талдауын қолдануды қамтыды.

Нәтижелер. Филиалдағы жалпы қалпына келу жоғары қарқындылықпен сипатталатыны анықталды: орташа тығыздық 12 411 дана/га құрайды, теректің үлесі басым (өскіндердің жалпы санының 54%). Айқын кеңістіктік біртекті еместік анықталды. Үш контрастты сценарий анықталды: 1) Сырымбет орманшылығында терек өскіндерінің максималды тығыздығы (18 467 дана/га) байқалды, бірақ оның төмен тіршілікке қабілеттілігі (78,5%) табиғи сиреу процестерін көрсетеді; 2) Ш. Уәлиханов минималды тығыздықпен (7 767 дана/га), бірақ өскіндердің жоғары сапасымен (қайыңның тіршілікке қабілеттілігі 97,8%) ерекшеленеді; 3) Сулы орманшылығы теңдестірілген орташа көрсеткіштерді көрсетеді. Тіршілікке қабілетті өскіндердің биіктігі жоғары екендігі және қайыңның барлық орманшылықтарда теректен сенімді түрде биік екендігі статистикалық тұрғыдан расталды ($p < 0,001$).

Қорытынды. Айыртау филиалындағы қайың мен теректің табиғи қалпына келуі сәтті жүруде, алайда оның сипаты мен сәттілігі әртүрлі сценарийлерді қалыптастыратын жергілікті жағдайлармен анықталады. Орман қалпына келтіру процестерін тиімді басқару үшін сараланған тәсіл ұсынылады: Сырымбет орманшылығында тығыз терек жас өскіндерінде күтімдік кесулер жүргізу, Ш. Уәлихановта табиғи қалпына келуге жәрдемдесу шараларын қолдану, ал Сулыда бақылау-мониторинг режимін қолдау.

Кілт сөздер: табиғи орман қалпына келуі, *Betula pendula Roth.*; *Populus tremula L.*; өскіндердің тығыздығы, «Көкшетау» МҰТП.

Dynamics of natural regeneration of *Betula pendula Roth* and *Populus tremula L* in the Aiyrtau branch of the «Kokshetau» SNNP

Alzhan Zh. Kurmanagochinov, Yertay A. Mukantayev, Wei Xue, Yerlan Zhumay
Nurgul B. Kazangapova, Madina S. Zhumagulova

Abstract

Background and Aim. The forests of the «Kokshetau» State National Nature Park play a key role in maintaining the ecological balance of the forest-steppe zone of Northern Kazakhstan. Natural regeneration after logging is the basis of their sustainability; however, the spatial patterns and factors of

success of this process in the territory of the Aiyrtau branch remain insufficiently studied. The aim of the research was a comprehensive assessment of the state, spatial differentiation, and leading factors of natural regeneration of silver birch (*Betula pendula Roth.*) and European aspen (*Populus tremula L.*) on sites disturbed by logging.

Materials and methods. The work was carried out in 2025 on the territory of the Aiyrtau branch of the Kokshetau State National Nature Park. On sites subjected to logging in 2018-2022, 36 permanent sample plots of 25 m² were established by systematic sampling in three forestry units (Suly, Syrymbet, Sh. Ualikhan). A complete enumeration of regeneration was carried out with height measurement and visual assessment of vitality (viable, non-viable, dry). Data processing included calculation of density, proportion of viability, analysis of height structure, as well as the use of analysis of variance (ANOVA) and post-hoc (Tukey) tests in the R 4.3.1 software environment to identify the statistical significance of factors.

Results. It was found that the overall regeneration in the branch is characterized by high intensity: the average density is 12,411 ind./ha with dominance of aspen (54% of the total number of regeneration). Pronounced spatial heterogeneity was revealed. Three contrasting scenarios were diagnosed: 1) in the Syrymbet forestry unit, the maximum density of aspen regeneration (18,467 ind./ha) was recorded, but its low viability (78.5%) indicates processes of natural thinning; 2) Sh. Ualikhan is distinguished by minimal density (7,767 ind./ha) but high quality of regeneration (birch viability 97.8%); 3) Suly demonstrates balanced average indicators. It was statistically confirmed ($p < 0.001$) that viable regeneration has greater height, and birch is reliably taller than aspen in all forestry units.

Conclusion. Natural regeneration of birch and aspen in the Aiyrtau branch proceeds successfully; however, its nature and success are determined by local conditions that form different scenarios. For effective management of reforestation processes, a differentiated approach is recommended: in the Syrymbet forestry unit, it is advisable to carry out thinning in dense young aspen stands; in Sh. Ualikhan, to apply measures to promote natural regeneration; and in Suly, to maintain an observational and monitoring regime.

Keywords: natural forest regeneration; *Betula pendula Roth.*; *Populus tremula L.*; regeneration density; Kokshetau SNNP.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - P.-254-261. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2148

ЭОЖ 631.4:620.3

Зерттеу мақаласы

Биофизикалық әдістермен синтезделген нанобөлшектер және оларды өсімдік патогендеріне қарсы қолдануды модельдеу

Мамбаева А.Ш.¹, Саданов А.К.¹, Ондаканов Д.А.¹, Сандыбаева А.М.¹, Лозовицкая Б.²

¹Қыздар ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

²«Өсімдік қорғау» ҒЗИ, Белосток, Польша

Корреспондент автор: Мамбаева А.Ш.: altyn71-71@mail.ru

Бірлескен авторлар: (1: АС) a.sadanov1951@gmail.com; (2: ДО) dastan_vko99@mail.ru

(3: АС) adema.sandybaeva@bk.ru; (4: БЛ) bozena.lozowicka@mail.ru

Қабылданған күні: 12.02.2026 **Қабылданды:** 19.03.03 **Жарияланды:** 30.03.2026

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Наноматериалдар өсімдіктерге төзімділік пен ауруларды бақылауда, қазіргі агротехникалық революцияда мықты құрал болып табылады. Азық-түлікпен қамтамасыз ету мәселелерін заманауи әдістермен шешу тиімділікті арттыруды және олардың адам ағзасына және қоршаған ортаға әсерін тереңірек түсінуді талап етеді. Осыған байланысты биофизикалық әдістермен синтезделген нанобөлшектер өсімдік патогендеріне қарсы баламалы, экологиялық қауіпсіз құрал ретінде зерттеу өзекті. Зерттеудің мақсаты – металл және металл оксидтері нанобөлшектерінің фитопатогендерге қарсы биологиялық белсенділігін бағалау және олардың әсерін математикалық модельдеу.

Материалдар мен әдістер. Мақалада биофизикалық тәсілдер (лазерлік абляция және ультрадыбыстық кавитация) арқылы синтезделген күміс (Ag), мырыш оксиді (ZnO) және мыс оксиді (CuO) негізіндегі нанобөлшектердің өсімдік патогендеріне қарсы биологиялық белсенділігі зерттелді. Нанобөлшектердің морфологиясы, орташа өлшемі мен ζ-потенциалы анықталып, фитопатогенді саңырауқұлақтар мен бактерияларға қарсы тиімділігі зертханалық жағдайда бағаланды. Нәтижелер нанобөлшектердің патогендердің өсуін айтарлықтай тежеу қабілетіне ие екенін және оларды экологиялық қауіпсіз өсімдік қорғау құралдары ретінде қолдануға болатынын көрсетті. Тежеу деңгейінің концентрацияға тәуелділігі экспоненциалды модель арқылы сипатталды.

Нәтижелер. Синтезделген нанобөлшектердің өлшемі 18-32 нм аралығында болды, ζ-потенциалы –27...–32 мВ мәндерін көрсетті, бұл олардың коллоидтық тұрақтылығын дәлелдейді. Ең жоғары антимикробтық әсер күміс нанобөлшектерінде байқалды: *F. oxysporum* – 82 %, *A. solani* – 79 %, *X. campestris* – 88%. Тежеу деңгейі бөлшек өлшемі мен меншікті бетіне тәуелділігін көрсетті. Математикалық модель тәжірибелік деректермен жоғары сәйкестік көрсетті ($R^2 \approx 0,91-0,95$) және концентрация 50-100 мг/л аралығында қанығу аймағына өтетінін дәлелдеді.

Қорытынды. Биофизикалық әдістермен алынған металл және металл оксиді нанобөлшектері фитопатогендерге қарсы жоғары тиімділік көрсетті. Ұсынылған экспоненциалды модель нанобөлшек концентрациясы мен биологиялық әсері арасындағы сандық тәуелділікті сипаттап, өсімдік қорғау препараттарының оңтайлы дозасын болжауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелерден нанобөлшектерді экологиялық қауіпсіз өсімдік қорғау құралдары ретінде қолдану қажеттілігін ұсынуға болады.

Кілт сөздер: нанобөлшектер; биофизикалық синтез; фитопатогендер; антимикробтық белсенділік; ауыл шаруашылығы.

Кіріспе

Өсімдік аурулары ауыл шаруашылығы өнімділігінің төмендеуіне әкелетін негізгі биологиялық факторлардың бірі болып табылады. Қазақстан жағдайында фитопатогенді саңырауқұлақтар мен бактериялар (*Fusarium*, *Alternaria*, *Xanthomonas*) дәнді және көкөніс дақылдарына елеулі зиян келтіреді. Қолданыстағы химиялық пестицидтер патогендердің төзімділігін арттырып, қоршаған ортаға экологиялық зиян келтіреді [1].

Осыған байланысты нанотехнологияға негізделген балама қорғау құралдарын әзірлеу өзекті болып отыр. Биофизикалық әдістермен синтезделген нанобөлшектер жоғары антимикробтық белсенділік көрсетеді. Сонымен қатар олардың фитопатогендерге әсерін математикалық модельдеу нанобөлшек концентрациясы мен тиімділігі арасындағы сандық тәуелділікті анықтауға және өсімдік қорғау препараттарының оңтайлы дозасын болжауға мүмкіндік береді.

Металл және металл оксиді нанобөлшектерінің антимикробтық әсері бірнеше механизмдер арқылы іске асады: жасуша қабырғасының құрылымдық бұзылуы, мембраналық өткізгіштіктің өзгеруі, реактивті оттегі түрлерінің (ROS) генерациясы және ДНҚ репликациясының тежелуі. Әсіресе күміс нанобөлшектері (AgNPs) иондарын бөлу арқылы ақуыздардың тиол топтарымен әрекеттесіп, ферменттік жүйелердің инактивациясына алып келеді. Мырыш оксиді (ZnONPs) және мыс оксиді (CuONPs) нанобөлшектері фотокаталитикалық белсенділігі арқылы оксидативті стресс тудырады [2, 3].

Материалдар мен әдістер

AgNPs, ZnONPs және CuONPs сұйық ортадағы лазерлік абляция және ультрадыбыстық кавитация әдістерімен синтезделді. Лазерлік абляция Nd:YAG лазерінің ($\lambda = 1064$ нм, импульс ұзақтығы $\tau = 10$ нс) көмегімен деионизацияланған суда жүргізілді. Ультрадыбыстық өңдеу 20 кГц жиілікте, 60 Вт қуатта 30 минут бойы іске асырылды.

Нанобөлшектердің орташа диаметрі лазер импульсінің энергиясына тәуелді (1):

$$D = k^{(E)-n}, \quad (1)$$

мұндағы, D – нанобөлшек диаметрі, нм;

E – лазер импульсінің энергиясы, мДж;

τ – импульс ұзақтығы;

k және n – тәжірибелік коэффициенттер [4, 5].

Зерттеуде келесі фитопатогендер қолданылды:

Fusarium oxysporum – фузариоз қоздырғышы (саңырауқұлақ);

Alternaria solani – альтернариоз қоздырғышы (саңырауқұлақ);

Xanthomonas campestris – ксантомоз қоздырғышы (бактерия).

Алматы облысы, Талғар ауданы егістігінде өсірілген қияр мен қырыққабат дақылдарының тамыр аймағынан(ризосферасынан) топырақ үлгілері алынды. Үлгілер стерильді құралдармен 5-15 см тереңдіктен жинап алынып, зертханаға жеткізілгеннен кейін микробиологиялық талдаулар, оларды қоректік ортада өсірулер жүргізілді. Микроағзаларды бөліп алу үшін сериялық сұйылту әдісі қолданылды, алынған суспензиялар Петри табақшаларында арнайы қоректік ортаға егілді. Саңырауқұлақтарды өсіру үшін картоп-декстрозалы агар (PDA), ал бактерияларда қоректік агар (NA) орталары пайдаланылды. Тежелу деңгейін бақылау 25 ± 1 °C температурада 7 тәулік аралығында жүргізілді.

Нанобөлшектердің тиімділігі агардағы диффузия әдісі және мицелий өсуін тежеу тәсілімен анықталды. Ингибиция пайызы келесі формула бойынша есептелді (2):

$$I = \frac{D_0 - D_1}{D_0} \times 100\%, \quad (2)$$

мұндағы, D_0 – бақылаудағы колония диаметрі;

D_1 – нанобөлшек қатысындағы диаметр.

Фитопатогендердің өсуін тежеу деңгейін сипаттау үшін эмпирикалық-математикалық модель қолданылды. Ингибиция деңгейінің нанобөлшек концентрациясына тәуелділігі экспоненциалды функциямен сипатталды (3):

$$I(C) = I(1 - e^{-kc}), \quad (3)$$

мұндағы:

$I(C)$ – фитопатогендердің өсуін тежеу пайызы, %;

I_{\max} – максималды ингибиция деңгейі;

k – нанобөлшектің биологиялық тиімділік коэффициенті;

C – нанобөлшек концентрациясы, мг/л.

Модельдеу нәтижелері тәжірибелік деректермен салыстырылып, жоғары сәйкестік көрсетті ($R^2 = 0,91-0,95$) [6, 7].

Экспоненциалды модель биологиялық жүйелердегі қанығу кинетикасына тура келеді. Концентрация артқан сайын рецепторлық немесе мембраналық байланысу аймақтары шектеледі, нәтижесінде ингибиция қисығы плато аймағына өтеді. Бұл құбылыс Михаэлис-Ментен типті кинетикалық заңдылықтарға ұқсас.

Лазерлік абляция кезінде жоғары энергиялы импульстар металл заттың бетінде плазмалық қабат түзеді, оның жылдам суынуы наномөлшерлі кластерлердің түзілуіне әкеледі. Ультрадыбыстық кавитация барысында пайда болатын микрокөпіршіктердің коллапсы локальды қысым мен температураны күрт арттырып, бөлшектердің қайта агрегациялануын тежейді. Бұл екі әдістің үйлесуі тар өлшемді, сфералық және жоғары дисперсті нанобөлшектердің түзілуін қамтамасыз етеді, нәтижесінде олардың биологиялық белсенділігі артады.

Нәтижелер және талқылау

Нәтижелер көрсеткендей биофизикалық әдістермен синтезделген нанобөлшектердің өлшемі 18-32 нм аралығында өзгерді. Күміс нанобөлшектерінің ең кіші орташа өлшемге және ең жоғары меншікті бетке ие болғанын көре аламыз, бұл олардың басқа нанобөлшектермен салыстырғанда реакциялық қабілеті жоғары екенін көрсетеді. Барлық нанобөлшектердің ζ -потенциалы теріс мәндерге ие, бұл коллоидтық жүйелердің салыстырмалы тұрақтылығын дәлелдейді. Биофизикалық ізденісте осыған дейінгі нәтижелер дәлелденіп, расталды. ζ -потенциал мәндерінің -25 мВ-тан төмен болуы коллоидтық жүйенің электростатикалық тұрақтылығын көрсетеді (1-кесте). Теріс зарядталған бөлшектердің өзара тебілуі агрегация процесін баяулатып, ерітіндідегі дисперстілік деңгейін сақтайды. Бұл биологиялық әсердің тұрақтылығына тікелей ықпал етеді [8, 9].

1-кесте – Биофизикалық әдістермен синтезделген нанобөлшектердің негізгі параметрлері

Нанобөлшек	Орташа өлшемі, нм	ζ -потенциал, мВ	Меншікті беті, м ² /г
AgNPs	18 ± 3	-32	45
ZnONPs	32 ± 5	-27	38
CuONPs	25 ± 4	-29	41

Нанобөлшектердің антимикробтық белсенділігі олардың өлшемі мен меншікті бетіне тікелей тәуелді. Бөлшек өлшемі кішірейген сайын беткі атомдардың үлесі артып, реакциялық белсенді орталықтардың саны көбейеді. Бұл реактивті оттегі түрлерінің түзілуін күшейтіп, микроб жасушаларындағы липидтер мен ақуыздардың тотығуын жеделдетеді. Сондықтан AgNPs ең жоғары тежеу деңгейін көрсетуі олардың ең кіші өлшемі мен ең үлкен меншікті бетіне байланысты.

Бақылау барысында фитопатогендердің өсуі тежелмеген (0%), ал нанобөлшектер қолданған жағдайда айқын тежелу байқалған (2-кестеде).

2-кесте – Нанобөлшектердің фитопатогендердің өсуін тежеу тиімділігі, %

Патоген	AgNPs	ZnONPs	CuONPs
<i>Fusarium oxysporum</i>	82 ± 2	68 ± 3	71 ± 2
<i>Alternaria solani</i>	79 ± 3	65 ± 2	69 ± 3
<i>Xanthomonas campestris</i>	88 ± 2	72 ± 3	75 ± 2

Бактерия *Xanthomonas campestris* үшін тежелу деңгейінің жоғары болуы оның жасуша қабырғасының құрылымдық ерекшеліктерімен түсіндіріледі. Грамтеріс бактериялардың жұқа пептидогликан қабаты нанобөлшектердің өнуіне қолайлы жағдай жасайды. Ал саңырауқұлақтарда хитин мен глюканнан тұратын қалың қабырға салыстырмалы төзімділік береді. Алынған нәтижелер күміс нанобөлшектерінің барлық зерттелген патогендерге қарсы ең жоғары антимикробтық белсенділік көрсететінін дәлелдейді (1, 2-кесте). Бұдан синтез әдісінің тиімділігін және алынған нанобөлшектердің биофизикалық және биомедициналық салада қолдануға жарамдығын көруге болады.

Нанобөлшектер жасуша мембранасының өткізгіштігін бұзып, реактивті оттегі түрлерінің (ROS) түзілуін күшейтеді. Модельдеу нәтижелері нанобөлшек концентрациясы 50-100 мг/л аралығында болғанда фитопатогендердің өсуін тежеу қанығу аймағына өтетінін көрсетті. Реактивті оттегі түрлерінің шамадан тыс түзілуі липидтердің пероксидтік тотығуын индукциялайды, бұл мембраналық тұтастықтың бұзылуына және жасуша ішілік гомеостаздың өзгеруіне әкеледі. Сонымен қатар митохондриялық тыныс алу тізбегінің зақымдануы АТФ синтезін (аденозинтрифосфат) – жасышадағы энергия көзін төмендетеді, нәтижесінде жасуша энергетикалық тапшылыққа ұшырайды.

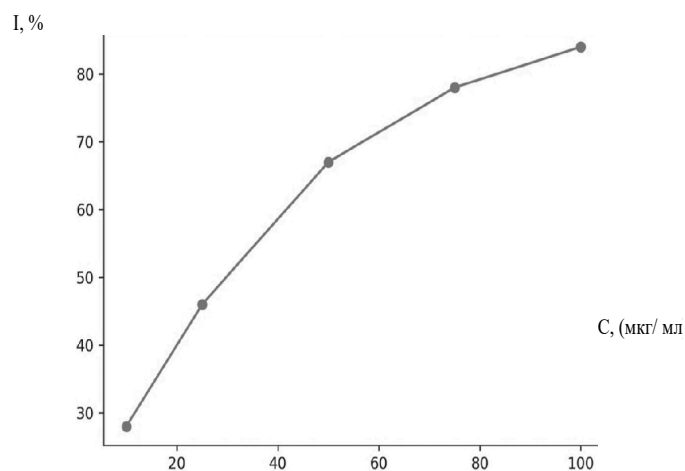
Фитопатогендердің өсуін тежеу деңгейін сандық бағалау мақсатында нанобөлшек концентрациясы мен тежелу деңгейі арасындағы тәуелділік модельденді. Эксперименттік деректер экспоненциалды модельмен жақсы сипатталды, бұл нанобөлшектердің әсері концентрация артқан сайын қанығу аймағына өтетінін көрсетеді [10]. 3-кестеде AgNPs концентрациясына байланысты *Fusarium oxysporum* өсуін тежеу көрсеткіштері көрсетілген

3-кесте – AgNPs концентрациясына байланысты *Fusarium oxysporum* өсуін тежеу көрсеткіштері

Нанобөлшек концентрациясы, мг/л	Тежелу деңгейі, %		
	I- бақылау	II- бақылау	III- бақылау
10	25 ± 2	27 ± 2	28 ± 2
25	40 ± 3	43 ± 3	46 ± 3
50	60 ± 2	62 ± 2	67 ± 2
75	73 ± 2	75 ± 2	78 ± 2
100	81 ± 2	83 ± 2	84 ± 2

Жоғарыдағы кесте нәтижелеріне сәйкес, нанобөлшек концентрациясы 50-100 мг/л аралығында болғанда фитопатогендердің өсуін тежеу деңгейі максимал мәніне жақындайды. Яғни, тәжірибелік нәтижелердің тұрақтылығын көрсетеді [11].

Модельдеу нәтижелері: AgNPs үшін I-C тәуелділігі. C, (мкг/мл)- AgNPs концентрациясы. I, %-тежелу деңгейі (2-сурет).



2-сурет – AgNPs концентрациясы мен фитопатогендердің өсуін тежеу деңгейі арасындағы тәуелділік (I–C)

Суретте күміс нанобөлшектерінің концентрациясы артқан сайын *Fusarium oxysporum* өсуін тежеу пайызының ұлғаюы көрсетілген. Нүктелер эксперименттік деректерді, ал тұтас сызық ингибиция деңгейінің экспоненциалды математикалық модельдеу нәтижесін сипаттайды. Модель тәжірибелік деректермен жоғары сәйкестік көрсетті ($R^2 > 0,9$).

Эксперименттік нәтижелер бойынша AgNPs фитопатогендерге қарсы ең жоғары тежеу деңгейін көрсетті (*F. oxysporum* үшін $82 \pm 2\%$, *X. campestris* үшін $88 \pm 2\%$). Сонымен қатар концентрация 50-100 мг/л аралығында болғанда тежеу деңгейінің қанығу аймағына өтетіні анықталды. Бұл құбылыс ұсынылған экспоненциалды модельмен сипатталып, жоғары сәйкестік коэффициентімен расталды ($R^2=0,91-0,95$). Аталған деректер практикалық қолдану кезінде артық дозалаудың тиімсіз екенін және биологиялық әсердің шекті деңгейі бар екенін көрсетеді.

Нанобөлшектердің ықтимал фитоуыттылығы олардың концентрациясына және әсер ету ұзақтығына тәуелді. Жоғары концентрацияларда металл иондарының бөлінуі өсімдік жасушаларында оксидативті стресс туындатуы мүмкін. Осыған байланысты модельдеу нәтижелері негізінде минималды тиімді концентрацияны анықтау агротехнологиялық регламентті ғылыми негіздеуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл фитопатогендерді тежеу тиімділігін сақтай отырып, өсімдік тіндеріне ықтимал теріс әсерді төмендетуге бағытталған.

Практикалық тұрғыдан нанобөлшектерді тұқымдық материалды өңдеу немесе вегетациялық кезеңде жапыраққа бүрку әдістері арқылы қолдану қарастырылуы мүмкін. Жоғары меншікті беті (AgNPs үшін $45 \text{ м}^2/\text{г}$) және кіші өлшемі ($18 \pm 3 \text{ нм}$) олардың аз мөлшерде тиімді әсер көрсетуіне жағдай жасайды. Бұл ауыл шаруашылығында ресурсты үнемдеу және қоршаған ортаға түсетін химиялық жүктемені азайту тұрғысынан маңызды.

Алынған нәтижелер биофизикалық синтез арқылы алынған нанобөлшектерді өсімдік қорғаудың баламалы құралдары ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, оларды өндірістік деңгейде енгізу алдында далалық жағдайда *in vivo* зерттеулер жүргізу, топырақ микробиоценозына ұзақ мерзімді әсерін бағалау және қауіпсіз қолдану регламентін нақтылау қажет.

Дәстүрлі химиялық пестицидтер бір немесе екі биохимиялық жолды ғана тежейтіндіктен, микроағзаларда төзімділік тез қалыптасады. Ал металл нанобөлшектері мембрананы, ферменттерді және генетикалық аппаратты бір мезетте зақымдайды, сондықтан резистенттілік ықтималдығы едәуір төмен. Сонымен қатар нанобөлшектердің қажетті дозасы бірнеше есе аз, бұл қоршаған ортаға түсетін химиялық жүктемені азайтады.

Қорытынды

Тәжірибемізде биофизикалық синтез арқылы алынған нанобөлшектердің фитопатогендерге әсері математикалық модельмен байланыстырылды. Яғни, AgNPs бактерияға (*Xanthomonas campestris*) қарсы қолдану 88% , ал саңырауқұлаққа (*Fusarium oxysporum*) қарсы 82% тежелу деңгейіне жеткізді. AgNPs концентрациясы 50-100 мг/л аралығында болғанда фитопатогендердің өсуін тежеу деңгейі максимал мәніне жақындады. Бұл жүргізілген жұмыстар өсімдік қорғау препараттарының оңтайлы дозасын алдын ала болжауға мүмкіндік беріп, нанобиотехнологияны агрономиялық практикамен ұштастыруға негіз болады.

Жүргізілген зерттеу металл және металл оксидтері негізіндегі нанобөлшектердің фитопатогендерге қарсы жоғары тиімділік көрсетуі. Эксперименттік нәтижелер математикалық модельдеу арқылы болжам жасалып, нанобөлшектер концентрациясы мен тежелу деңгейі арасындағы байланысын анықтады. Модельдеу өсімдік қорғау құралдарының оңтайлы дозасын алдын ала болжауға мүмкіндік береді.

Авторлардың қосқан үлесі

МА: зерттеу тұжырымдамасын әзірлеу, тәжірибелерді жоспарлау, нанобөлшектерді синтездеу жұмыстарын жүргізу, нәтижелерді талдау, математикалық модельдеу және мақаланың негізгі мәтінін жазу. СА: зертханалық тәжірибелерді ұйымдастыру, фитопатогендермен биосынақтарды жүргізу, микробиологиялық зерттеулерді интерпретациялау және әдістемелік кеңес беру. ОД: нанобөлшектердің физика-химиялық сипаттамаларын анықтау (өлшемі, морфологиясы, ζ -потенциалы), құрал-жабдықтармен жұмыс және деректерді өңдеу. СА, МА: антимикробтық

белсенділікті бағалау, ағардағы диффузия әдістерін жүргізу, ингибиция көрсеткіштерін есептеу және статистикалық талдау. ЛБ: нәтижелерді салыстырмалы талдау, әдебиеттерге шолу жасау, ғылыми редакциялау және қорытынды бөлімін дайындау. Барлық авторлар мақаланың соңғы нұсқасын қарап, мақұлдады және жариялауға келісім берді.

Әдебиеттер тізімі

1 Какимжанова, А.А., и др. (2025). Изучение микромицетов, выделенных из клубней картофеля, пораженных сухой гнилью в Казахстане. *Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени С.Сейфуллина: междисциплинарный*, 3(127), 138-153. DOI:10.51452/kazatu.2025.3(127).2016.

2 Vijayreddy, D., Dutta, P., Puzari, K.R. (2024). Nanotechnology in plant disease management. *Research Biotica*, 5(2), 56-62. DOI:10.54083/ResBio/5.2.2023/56-62.

3 Marco, V.C., et al. (2021). Nanopesticides in Agriculture: Benefits and Challenge in Agricultural Productivity, Toxicological Risks to Human Health and Environment. *Toxicx*, 9(6), 131. DOI:10.3390/toxics9060131.

4 Исакова, Д.Т., Аронбаев, С.Д., Аронбаев, Д.М. (2023). Получение композиционного материала, содержащего наночастицы серебра. *Universum: химия и биология*, 8-1(110).

5 Luciano, P.S., et al. (2017). Silver nanoparticles as antimicrobial agents. *Nanotechnology*, 577-596. DOI:10.1016/B978-0-323-46152-8.00026-3.

6 Sharma, V.K., Yngard, R.A., Lin, Y. (2021). Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 145, 83-96. DOI:10.3390/toxics9060131.

7 Yan, A., et al. (2019). Impacts of Silver Nanoparticles on Plants: A Focus on the Phytotoxicity and Underlying Mechanism. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), 1003. DOI:10.3390/ijms20051003.

8 Антропова, И.Г., Смолянский, А.С., Кошкина, О.А. (2019). Фотобиосинтез гидрозолей наночастиц серебра с использованием экстракта листьев растения *mirtaya paniculata*. *Успехи в химии и химической технологии*, 9(219).

9 Рабинович, Г.Ю., Любимова, Н.А. (2021). Биосинтез наночастиц металлов и оксидов металлов и их использование в качестве компонентов удобрений и препаратов для растениеводства (обзор литературы). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, 22(5), 627-640.

10 Зейналов, О.А., Комбарова, С.П., Багров, Д.В., Петросян, М.А., Толибова, Г.Х., Феофанов, А.В., Шайтан, К.В. (2016). О влиянии наночастиц серебра на физиологию живых организмов. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*, 14:1, 25-38. DOI: 10.17816/RCF14125-38.

11 Полонский, В.И., Асанова, А.А. (2018). Влияние Наночастиц серебра на биологические объекты. *Вестник КрасГАУ*, 6.

References

1 Kakimzhanova, A.A., i dr. (2025). Izuchenie mikromicetov, vydelennyh iz klubnei kartofelya, porazhennyh suhoi gnil'ju v Kazahstane. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotehnicheskogo issledovatel'skogo universiteta imeni S.Seifullina: mezhdisciplinarnyi*, 3(127), 138-153. DOI:10.51452/kazatu.2025.3(127).2016.

2 Vijayreddy, D., Dutta, P., Puzari, K.R. (2024). Nanotechnology in plant disease management. *Research Biotica*, 5(2), 56-62. DOI:10.54083/ResBio/5.2.2023/56-62.

3 Marco, V.C., et al. (2021). Nanopesticides in Agriculture: Benefits and Challenge in Agricultural Productivity, Toxicological Risks to Human Health and Environment. *Toxicx*, 9(6), 131. DOI:10.3390/toxics9060131.

4 Isakova, D.T., Aronbaev, S.D., Aronbaev, D.M. (2023). Poluchenie kompozitsionnogo materiala, soderzhashhego nanochasticy serebra. *Universum: химия и биология*, 8-1(110).

5 Luciano, P.S., et al. (2017). Silver nanoparticles as antimicrobial agents. *Nanotechnology*, 577-596. DOI:10.1016/B978-0-323-46152-8.00026-3.

6 Sharma, V.K., Yngard, R.A., Lin, Y. (2021). Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 145, 83-96. DOI:10.3390/toxics9060131.

7 Yan, A., et al. (2019). Impacts of Silver Nanoparticles on Plants: A Focus on the Phytotoxicity and Underlying Mechanism. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), 1003. DOI:10.3390/ijms20051003.

8 Antropova, I.G., Smoljanskii, A.S., Koshkina, O.A. (2019). Fotobiosintez gidrozolei nanochastic serebra s ispol'zovaniem ekstrakta list'ev rasteniya murraya paniculata. *Uspehi v himii i himicheskoi tehnologii*, 9(219).

9 Rabinovich, G.Ju., Lyubimova, N.A. (2021). Biosintez nanochastic metallov i oksidov metallov i ih ispol'zovanie v kachestve komponentov udobrenii i preparatov dlya rastenievodstva (obzor literatury). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 22(5), 627-640.

10 Zeinalov, O.A., Kombarova, S.P., Bagrov, D.V., Petrosyan, M.A., Tolibova, G.H., Feofanov, A.V., Shaïtan, K.V. (2016). O vliyani nanochastic serebra na fiziologiyu zhivyh organizmov. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii*, 14:1, 25-38. DOI: 10.17816/RCF14125-38.

11 Polonskii, V.I., Asanova, A.A. (2018). Vliyanie Nanochastic serebra na biologicheskie ob#ekty. *Vestnik KrasGAU*, 6.

Наночастицы, синтезированные биофизическими методами, и моделирование их применения против патогенов растений

Мамбаева А.Ш., Саданов А.К., Ондаканов Д.А., Сандибаева А.М., Лозовицкая Б.

Аннотация

Предпосылки и цель. Наноматериалы являются мощным инструментом повышения устойчивости растений и борьбы с болезнями в условиях современной агротехнической революции. Решение проблем обеспечения продовольствием современными методами требует повышения эффективности и более глубокого понимания их воздействия на организм человека и окружающую среду. В связи с этим актуально изучение наночастиц, синтезированных биофизическими методами, как альтернативного, экологически безопасного средства борьбы с фитопатогенами. Цель исследования – оценка биологической активности металлов и наночастиц оксидов металлов в отношении фитопатогенов и математическое моделирование их действия.

Материалы и методы. В статье изучена биологическая активность наночастиц на основе серебра с(Ag), оксидов цинка (ZnO) и оксида меди (CuO), синтезированных биофизическими методами (лазерная абляция и ультразвуковая кавитация) против фитопатогенов растений. Определены морфология, средний размер и ζ-потенциал наночастиц, оценена их эффективность против фитопатогенных грибов и бактерий в лабораторных условиях. Результаты показали, что наночастицы обладают способностью существенно подавлять рост болезнетворных микроорганизмов и могут использоваться в качестве экологически безопасных средств защиты растений. Зависимость уровня ингибирования от концентрации описывалась экспоненциальной моделью.

Результаты. Размер синтезированных наночастиц находился в диапазоне 18-32 нм, ζ-потенциал показал значения -27...-32 мВ, что доказывает их коллоидную стабильность. Наибольший антимикробный эффект наблюдался у наночастиц серебра: *F. oxysporum* - 82%, *A. solani* - 79%, *X. Campestris* - 88%. Установлено, что уровень ингибирования зависит от размера частиц и удельной площади поверхности. Математическая модель показала высокое согласие с экспериментальными данными ($R^2 \approx 0,91-0,95$) и доказала, что концентрация достигает зоны насыщения в диапазоне 50-100 мг/л.

Закключение. Наночастицы металлов и оксидов металлов, полученные биофизическими методами, показали высокую эффективность против фитопатогенов. Предложенная экспоненциальная модель описывает количественную зависимость между концентрацией

наночастиц и биологическим эффектом и позволяет прогнозировать оптимальную дозу препаратов защиты растений. Полученные результаты закладывают научную основу использования наночастиц в качестве экологически безопасных средств защиты растений.

Ключевые слова: наночастицы; биофизический синтез; фитопатогены; антимикробная активность; сельское хозяйство.

Nanoparticles synthesized by biophysical methods and modeling their use against plant pathogens

Altynay Sh. Mambaeva, Amankeldi K. Sadanov, Dastan A. Ondakanov, Ádemi M. Sandybayeva
Bozena Lozowicka

Abstract

Background and Aim. Nanomaterials represent a powerful approach for enhancing plant resistance and combating diseases in the modern agricultural revolution. Addressing food supply problems incorporating modern methods requires increased efficiency and a deeper understanding of their impact on the human body and the environment. In this context, nanoparticles synthesized via biophysical methods warrant investigation as environmentally sustainable alternatives for controlling phytopathogens. The purpose of the study is to evaluate the biological activity of metals and metal oxide nanoparticles against phytopathogens and mathematical modeling of their action.

Materials and methods. The study investigates the biological activity of nanoparticles based on silver (Ag), zinc oxide (ZnO) and copper oxide (CuO), synthesized by biophysical methods (laser ablation and ultrasonic cavitation) against plant pathogens. The morphology, average size and ζ -potential of nanoparticles were determined, and their effectiveness against phytopathogenic fungi and bacteria in laboratory conditions were characterized. The results demonstrate that nanoparticles have the ability to significantly inhibit the growth of pathogens and may serve as environmentally friendly plant protection products. The dependence of the level of inhibition on concentration was described using an exponential model.

Results. The size of the synthesized nanoparticles was in the range of 18-32 nm, the ζ -potential showed values of $-27 \dots -32$ mV, which proves their colloidal stability. The greatest antimicrobial effect was observed for silver nanoparticles: *F. oxysporum* - 82%, *A. solani* - 79%, *X. campestris* - 88%. The level of inhibition was found to depend on particle size and specific surface area. The mathematical model showed high agreement with the experimental data ($R^2 \approx 0.91-0.95$) and proved that the concentration reaches the saturation zone in the range of 50-100 mg/l.

Conclusion. Nanoparticles of metals and metal oxides synthesized by biophysical methods have shown high efficiency against phytopathogens. The proposed exponential model describes the quantitative relationship between the concentration of nanoparticles and the biological effect and allows us to predict the optimal dose of plant protection drugs. The results obtained lay the scientific basis for the use of nanoparticles as environmentally friendly plant protection products.

Keywords: nanoparticles; biophysical synthesis; phytopathogens; antimicrobial activity; agriculture.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-262-275. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2137

УДК 551.586:633.1

Исследовательская статья

Агроклиматические ресурсы и продуктивность яровой пшеницы в засушливых условиях Казахстана: анализ, решения, потенциал

Кужинов М.Б. , Акшалов К.А. , Жұмабек Б. , Байшоланов С.С. , Баймуканова О.Н. 

Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева
Казахстан, Акмолинская область, Шортандинский район, пос. Научный

Автор-корреспондент: Акшалов К.А.: kanatakshalov@mail.ru

Соавторы: (1: МК) kuzhinov62@mail.ru; (2: БЖ) zhumbabek.84@mail.ru

(3: СБ) saken_baisholan@mail.ru (4: ОБ) olesya.baymukanova@mail.ru

Получено: 29.01.2026 **Принято:** 10.03.2026 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылка и цель. В засушливых условиях Северного Казахстана вариация уровня урожайности яровой пшеницы связана с количеством и временем выпадения атмосферных осадков. Коэффициент корреляции составляет 81,5%. Различия в урожайности яровой пшеницы в различные по погодным условиям годы достигал 2-х-3-х кратных значений. На основе анализа изменения климата и закономерностей выпадения осадков в период вегетации яровой пшеницы проведены исследования по оценке взаимосвязи и влияния интенсификации сроков посева яровой пшеницы на основе применения минеральных удобрений и сроков посева при системе прямого посева. Цель исследований – оценка агрометеорологических условий, повышение эффективности использования атмосферных осадков, устойчивой продуктивности яровой пшеницы на основе интенсификации сроков посева.

Материалы и методы. Для оценки продуктивности яровой пшеницы в зависимости от изменения погоды и влияния средств интенсификации использованы многолетний ряд агрометеорологических показателей, урожайность яровой пшеницы по административным районам и природно-климатическим зонам Акмолинской области за период 2008-2024 гг. Используются методы корреляционного анализа для оценки связи урожайности с количеством атмосферных осадков. Полевые исследования включали изучение сроков посева, применение фосфорных и азотно-фосфорных удобрений, прямой посев.

Результаты. При посеве в начале оптимальных сроков посева яровой пшеницы потенциал минеральных удобрений реализуется не эффективно. Наибольшая рентабельность применения фосфорных и азотно-фосфорных удобрений достигается при посеве после 20 мая. Применение азотно-фосфорных удобрений повышает урожайность яровой пшеницы до 35,0%, снижает расход атмосферной влаги на формирование 1 ц зерна на 24,0-25,6% при посеве во второй половине мая месяца, позволяет эффективно использовать климатические ресурсы.

Заключение. В связи с изменением режима распределения атмосферных осадков интенсификация технологии возделывания яровой пшеницы при посеве во второй половине оптимального срока на основе улучшения минерального питания растений позволяет эффективно использовать осадки второй половины вегетационного периода. Это обеспечивает снижение водопотребления, реализацию продукционного потенциала яровой пшеницы, повышение урожайности и улучшение качества зерна в условиях изменяющегося климата Акмолинской области. Внесение азотно-фосфорных удобрений уменьшает водопотребление на 25,6%.

Ключевые слова: агроклиматические ресурсы; яровая пшеница; урожайность; сроки посева; удобрения; эффективность использования осадков.

Введение

Актуальность. Основной растениеводческой отрасли в северных областях Казахстана является производство зерновых, зернобобовых и масличных культур.

Яровая пшеницы является основной продовольственной, коммерческой культурой в Казахстане [1]. Современные вызовы в сельскохозяйственном производстве связаны с изменением климата, проявлением засушливых и жарких явлений [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Анализ данных показывает рост средней температуры в регионе на 0,15 °C/10 лет, т.е. за 110 лет температура воздуха в Казахстане повысилась на 1,5 °C [9, 10].

Основное количество продуктивных осадков в Северном Казахстане выпадает во второй половине лета, что необходимо учитывать при выборе сроков посева яровой пшеницы. Сроки посева яровой пшеницы нужно планировать так, чтобы фазы наиболее интенсивного роста растений совпадали с выпадением максимального количества осадков. В последнюю декаду лет изменился режим осадков и температуры воздуха в вегетационный период. Поэтому необходимо уточнить сроки посева яровой пшеницы. По многолетним данным сумма эффективных температур воздуха выше 5 градусов за вегетационный период составляет в среднем 1200-1300 °C в лесостепной зоне Костанайской области, лесостепной и степной зонах Акмолинской области и 1300-1400 °C – в степной и сухостепной зонах Костанайской и сухостепной зоне Акмолинской области [2, 3, 11, 12, 13]. За последние 32 года в северных областях Казахстана имела тенденцию рост суммы эффективных температур воздуха выше 5 °C за вегетационный период. В последние десятилетия рост суммы эффективных температур воздуха сопровождался ростом количества жарких дней (КЖД) с максимальной температурой воздуха выше 32 °C. Это подтверждается данными метеостанций «Карабалык» (север Костанайской области) и Акколь (центр Акмолинской области) за последние 41 год (1981-2021 гг.). Самым жарким был 1998 год, когда КЖД доходило до 25-30 дней за лето. Также жаркими были 2010, 2012, 2020, 2021 годы [4, 5, 7].

Рабочая гипотеза: интенсификация сроков посева позволит эффективно и рационально использовать агроклиматические ресурсы, биологический потенциал растений, уменьшить и смягчить зависимость растениеводства от погодных условий.

В Северном Казахстане рекомендованы сроки посева яровой пшеницы с 15-25 мая для контроля сорных растений и вредителей, продуктивного использования летних осадков [14, 15].

По данным Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан [1] уборочная площадь яровой пшеницы в Акмолинской, Костанайской, Павлодарской и Северо-Казахстанской областях составляла в 2024 году 10772,1 тыс. га, в том числе в Акмолинской области 3924,3 тыс. га, Костанайской – 3653,3 в Павлодарской -661,8 и в Северо-Казахстанской области -2532,7 тыс. га. Анализ площади посевов показывает, что в структуре посевных площадей яровая пшеница занимает до 72,3%. Северные области Казахстана являются зерновым поясом или «хлебной корзиной» страны. Основная доля производства зерновых культур приходится на яровую пшеницу.

Задача исследований: -анализ изменения агрометеорологических показателей;

- изучить влияние сроков посева и минеральных удобрений на расход почвенной влаги

- изучить влияние азотных и фосфорных удобрений на урожайность яровой пшеницы;

Материалы и методы

Для характеристики агрометеорологических условий использованы показатели тепло- и влагообеспеченности. Для анализа агрометеорологических условий использовались данные метеорологических станций РГП «Казгидромет» Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан (МЭПР РК). Нормы агрометеорологических показателей определялись как среднее за 33-летний период. Использовали Коэффициент увлажнения «К» и Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова «ГТК» [9, 16, 17, 18]. Коэффициент увлажнения «К» характеризует степень влагообеспеченности вегетационного периода, который включает в себе осадки холодного периода (ноябрь-март), осадки и температуру воздуха за вегетационный период (май-июль / июнь-август). В засушливые годы в северных областях Казахстана важное значение имеет сумма температур за май-июль месяцы. Гидротермический коэффициент «ГТК» характеризует

засушливость вегетационного периода (май-июль / июль-август) или атмосферную засуху. В засушливые годы в северных областях Казахстана рекомендуется рассчитывать «ГТК» за период май-июль месяцы. ГТК является индексом атмосферной засухи. Коэффициент увлажнения К, в отличие от ГТК учитывает осадки холодного периода, которые формируют весенние запасы влаги почвы. Соответственно «К» косвенно характеризует почвенно-атмосферную засуху. В условиях Казахстана для оценки влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в период их активной вегетации (июль-август) подходит коэффициент увлажнения К, предложенный Байшолановым С.С. [5, 9]:

$$K = \frac{0,5 \sum R_{114} + \sum R_{58}}{0,12 \sum T_{58}} \quad K = \frac{0.5 \sum R_{11-4} + \sum R_{5-8}}{0.118 \sum T_{5-8}} \quad (1.1)$$

здесь: $\sum R_{114}$ – сумма осадков за ноябрь-апрель;

$\sum R_{58}$ – сумма осадков за май-август;

$\sum T_{58}$ – сумма температур воздуха за май-август.

Здесь сумма осадков за ноябрь-апрель косвенно характеризует запасы влаги в почве на начало мая (период сева культур), а сумма температур воздуха за май-август – испаряемость. Также К, в определенной степени может характеризовать и общую (атмосферно-почвенную) засуху.

В условиях Казахстана для оценки засушливости вегетационного периода используется гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова, рассчитанный за период май-август (ГТК5-8) [9, 16]:

$$ГТК = \frac{\sum R_{58}}{0,1 \sum T_{58}} \quad K = \frac{0.5 \sum R_{11-4} + \sum R_{5-8}}{0.118 \sum T_{5-8}}$$

Здесь: $\sum R_{5-8}$ – сумма осадков за май-август; $\sum T_{5-8}$ – сумма среднесуточных температур воздуха за май-август.

На экспериментальных участках изучалась динамика водного режима почвы в различных агроэкосистемах. Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89). Урожай убирался поделочно, малогабаритным комбайном Wintersteiger. Способ уборки - прямое комбинирование с измельчением и разбрасыванием соломы по поверхности поля.

Для анализа динамики изменения продуктивности яровой пшеницы в зависимости от погодных условий использован многолетний ряд урожайности по Северному Казахстану. Для понимания проявления засушливых явлений, изменения атмосферных осадков в засушливом регионе приведены данные по влагообеспеченности в Павлодарской, Костанайской, Северо-Казахстанской и Акмолинской областях. Показатели урожайности яровой пшеницы приведены из данных Бюро национальной статистики РК за 2008-2024 гг Павлодарской, Костанайской, Северо-Казахстанской и Акмолинской областей. Для анализа использованы статистические данные урожайности Акмолинской области. В исследовании использовались данные метеорологических станций (МС) РГП «Казгидромет» Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан (МЭПР РК) за период с 2008 по 2024 год. Объект исследований – южный карбонатный чернозём Акмолинской области. Исследования проводились на стационарных полевых опытах Научно-производственного Центра зернового хозяйства им. А.И. Бараева (51°12N и 071°02E) Исследования проводились в течение 2022-2024 гг. Использовался метод прямого посева. В опыте высевался среднеспелый сорт яровой пшеницы «Астана 2». Агрофон – стерня зерновых культур. При разных сроках посева яровой пшеницы испытывались азотные и фосфорные удобрения одновременно с посевом. Годовая сумма осадков за сельскохозяйственный год в среднем за 3 года составила 308,1 мм.

Результаты и обсуждение

Северные области Казахстана характеризуются разнообразием почвенных и климатических условий: от умеренно увлажнённой лесостепной, степной природными зонами до сухих степей с обыкновенными и южными чернозёмными почвами до темно-каштановых и средне-каштановых

почв [2, 3]. Природные условия природных зон характеризуются неравномерным выпадением атмосферных осадков в течение сельскохозяйственного года. Особенности погодных условий последней декады лет являются, во-первых, вариация количества осадков как по природным зонам, так и в течение года и, во-вторых, в перераспределении летних осадков на вторую половину вегетационного периода. Природные зоны характеризуются засушливостью климата и увлажнённой второй половиной вегетационного периода [2].

Сумма осадков за холодный период года за последние 33 года (1991-2023 гг.) имела тенденцию роста в Северо-Казахстанской, Костанайской, Акмолинской и Павлодарской областях [2, 3, 4, 7, 8, 11, 12, 13]. Установлены тесные корреляционные зависимости продуктивности сельскохозяйственных культур от биоклиматических показателей и их изменений [9, 19-25].

Более тесные корреляционные зависимости урожайности яровой пшеницы связаны с коэффициентами увлажнения и гидротермическими коэффициентами (таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициенты парной корреляции между урожайностью яровой пшеницы и агрометеорологическими показателями (R^2)

Природная зона	$\sum R_{10-4}$	$\sum R_{5-7}$	$\sum T_{5-7\text{эф}}$ $\sum T_{6-8\text{эф}}$	К	ГТК
Павлодарская область					
Степная	0,55	0,56	-0,54	0,65	0,58
Сухостепная	0,60	0,59	-0,63	0,67	0,62
Северо-Казахстанская область					
Лесостепная	0,36	0,51	-0,49	0,58	0,54
Степная	0,36	0,40	-0,52	0,49	0,44
Костанайская область					
Лесостепная	0,18	0,50	-0,52	0,54	0,52
Степная	0,28	0,56	-0,61	0,64	0,59
Сухостепная	0,34	0,66	-0,68	0,71	0,66
Акмолинская область					
Лесостепная	0,16	0,54	-0,71	0,58	0,57
Степная	0,40	0,58	-0,73	0,73	0,63
Сухостепная	0,25	0,65	-0,75	0,70	0,67

где, $\sum R_{10-4}$ – сумма осадков за октябрь-апрель месяцы;

$\sum R_{5-8}$ – сумма осадков за май-август;

$\sum T_{5-8}$ – сумма суточных температур воздуха выше 10 °С за май-август;

$\sum T_{\text{эф}}_{5-7}$, оС - сумма эффективных температуры воздуха за май-июль месяцы.

В засушливых условиях Казахстана уровень урожайности определяется осадками летнего вегетационного периода. Анализ периодов повторяемости погодных условий с различной вероятностью приведён в таблице 2.

Таблица 2 – Повторяемость годов с разной благоприятностью погодных условий, %

Природная зона	В увлажнённые годы	В умеренно-увлажнённые годы	В засушливые годы
Павлодарская область			
Степная	30%	40% (7,0-10,0 ц/га)	30%
Сухостепная	20%	40% (6,0-9,0 ц/га)	40%
Северо-Казахстанская область			
Лесостепная	50%	40% (11,0-15,0 ц/га)	10%
Степная	40%	30% (10,0-13,0 ц/га)	30%

Продолжение таблицы 2

Костанайская область			
Лесостепная	40%	30% (11,0–14,0 ц/га)	30%
Степная	20%	40% (10,0–13,0 ц/га)	40%
Сухостепная	10%	30% (9,0–11,0 ц/га)	60%
Акмолинская область			
Лесостепная	40%	40% (10,0–14,0 ц/га)	20%
Степная	40%	30% (9,0–11,5 ц/га)	30%
Сухостепная	20%	40% (8,5–10,5 ц/га)	40%

Как видно из таблицы 2, лесостепная зона характеризуется большей вероятностью повторения увлажнённых периодов. Вероятность повторения благоприятных по увлажнению периодов в степной зоне больше в Северо-Казахстанской и Акмолинской областях.

Значения показателей и коэффициентов засушливости за период исследований по природным зонам приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Средние по природным зонам значения агрометеорологических показателей в 2021- 2023 годах в Акмолинской области

Природная зона	Год	$\sum R_{11-4}$, мм	$\sum R_{5-8}$, мм	$\sum T_{эф5-7}$, °C	К	ГТК
Лесостепная	2021	130	76	1236	0,65	0,45
	2022	118	148	1133	1,05	0,93
	2023	175	84	1236	0,75	0,51
	Среднемноголетние значения (средняя)	144	147	1073	1,15	0,99
Степная	2021	138	71	1217	0,64	0,42
	2022	158	191	1189	1,34	1,17
	2023	170	37	1247	0,52	0,22
	Среднемноголетние значения (средняя)	147	136	1119	1,06	0,89
Сухостепная	2021	140	68	1324	0,60	0,38
	2022	129	93	1274	0,73	0,54
	2023	159	52	1354	0,55	0,29
	Среднемноголетние значения (средняя)	148	117	1195	0,93	0,73

где, $\sum R_{11-4}$ – сумма осадков за ноябрь-апрель;

$\sum R_{5-8}$ – сумма осадков за май-август;

$\sum T_{5-8}$ – сумма суточных температур воздуха выше 10 °C за май-август;

$\sum T_{эф5-7}$, оC - сумма эффективных температуры воздуха за май-июль месяцы.

Как видно из таблицы 3, среднемноголетние показатели коэффициентов по природным зонам существенно не отличаются. В лесостепной и степной природных зонах зимних осадков выпадает больше по сравнению с сухостепной зоной. Анализ показывает, что в лесостепной и степной зонах за период вегетации яровой пшеницы летних осадков больше по сравнению с сухостепной зоной (таблица 3). Приведённые коэффициенты использованы для характеристики погодных условий для оценки продуктивности яровой пшеницы.

Анализ урожайности яровой пшеницы за 2008-2024 годы в Акмолинской области показывает на сильную вариацию уровня урожайности в зависимости от природных зон. Относительной стабильностью урожайность яровой пшеницы отмечается в умеренно-увлажнённой зоне с обыкновенными чернозёмными почвами. Вариация урожайности яровой пшеницы в этой

зоне менее выражена и составляет 12,2-13,8 ц/га. На южных чернозёмных почвах уровень урожайности ниже и варьирует от 9,4 до 11,6 ц/га. В сухостепной зоне варьирование урожайности яровой пшеницы составляет 7,1-9,7 ц/га. Анализ показал, что самый низкий за последние 17 лет урожай зерна яровой пшеницы сформировался в 2010 году и составил 5,1 ц/га. Самый высокий урожай пшеницы сформировался в 2011 году – 15,5 ц/га. Эти годы характеризовались различными коэффициентами увлажнения. Практически во все годы более высокий урожай зерна формируется в районах, расположенных в зоне умеренно увлажнённой степи на обыкновенных чернозёмах (Бурабайский, Зерендинский, Сандыктауский). Средняя урожайность пшеницы по данной зоне за 2008-2024 годы составила 12,5 ц/га. В зоне умеренно засушливой степи на менее плодородных южных чернозёмах урожай зерна пшеницы за эти годы составил 9,8 ц/га. В эту природную зону входят Аккольский, Астраханский, Атбасарский, Биржан-сал, Буландынский, Жаксынский и Шортандинский районы. Наиболее высокий урожай получен в Буландынском районе (11,6 ц/га), наименьший – в Аккольском районе (9,4 ц/га). В сухостепной зоне на тёмно-каштановых почвах (районы Аршалынский, Егиндыкольский, Есильский, Ерейментауский, Коргалжынский, Целиноградский) средний урожай пшеницы за этот период составил 8,6 ц/га. Более высокий урожай был получен в Аршалынском районе – 9,7 ц/га. Наименьший урожай отмечен в Ерейментауском районе – 7,1 ц/га. В пустынно-степной зоне на тёмно-каштановых и средне-каштановых почвах Жаркаинского района средняя урожайность пшеницы составила 8,7 ц/га.

Эффективность использования ресурсов почвенной влаги и атмосферных осадков существенно различается в зависимости от увлажнённости (таблица 4).

Таблица 4 – Урожайность яровой пшеницы, уровень осадков и расход влаги на единицу продукции в различные по погодным условиям годы в условиях Акмолинской области (анализ за 2008-2024 гг.)

№ п/п	Год	Средняя урожайность, ц/га	Осадки за сельскохозяйственный период, мм	Расход влаги на 1 ц продукции/зерна, мм
Острозасушливый год				
1	2010	5,1	198,7	49,2
Засушливый год				
2	2009	10,9	265,9	32,1
Влажный год				
3	2011	15,5	300,0	23,5
В том числе				
4	2020	11,3	409,1	35,3
5	2021	8,7	274,5	30,9
6	2022	11,5	256,7	27,0
7	2023	6,9	181,2	42,2
8	2024	12,4	486,4	45,6

При относительно достаточных запасах весенней почвенной влаги, ограниченного количества летних осадков и низкой урожайности, расход атмосферной влаги на единицу продукции резко увеличивается (таблица 4). Расход влаги атмосферных осадков увеличивается в острозасушливые годы до 49,2 мм. В увлажнённые годы на создание единицы урожая расходуется около 23,5 мм или меньше на 52,2% чем в засушливые годы. Количество атмосферных осадков не всегда характеризует эффективность его использования (таблица 4). Это связано с поздними осадками в период вегетации яровой пшеницы, оказывающих слабое влияние на продуктивность культуры.

В связи с изменением распределения летних осадков мы предположили, что за счёт улучшения питания растений можно повысить эффективность использования природных ресурсов. Как показали исследования, продуктивность яровой пшеницы повышается при посеве во второй половине мая месяца (таблица 5).

Таблица 5 – Урожайность яровой пшеницы в зависимости от сроков посева и применения минеральных удобрений, НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева, Шортанды

Дата посева	Удобрение	Урожайность по годам, ц/га				± от внесения удобрений, ц/га	Расход влаги на 1 ц зерна, мм	Количество зерна на 1 мм осадков, кг
		2022	2023	2024	Средние за 2022-2024			
12-13 мая	Без удобрений (контроль)	6,3	6,2	24,9	12,5	- (контроль)	24,6	4,1
	Аммиачная селитра (N)	6,8	5,7	25,8	12,8	+0,3	24,1	4,2
	Аммофос	6,5	7,1	25,8	13,1	+0,6	23,5	4,3
	Азотно-фосфорное	7,8	6,8	24,8	13,1	+0,6	23,5	4,3
	Среднее	6,9	6,5	25,3	12,9	+0,5	23,9	4,2
22-23 мая	Без удобрений (контроль)	9,2	8,7	24,9	14,3	(контроль)	21,5	4,6
	Аммиачная селитра (N)	12,1	8,6	27,9	16,2	+1,9	19,0	5,3
	Аммофос	11,8	10,3	30,9	17,7	+3,4	17,4	5,7
	Азотно-фосфорное	13,6	9,8	34,5	19,3	+5,0	16,0	6,3
	Среднее	11,7	9,4	29,6	16,9	+3,4	18,2	5,5
	НСР ₀₅	1,3	0,4	2,8		1,7		

Как видно из данных, приведённых в таблице 5, эффективность минеральных удобрений слабо проявляется при посеве яровой пшеницы в ранние сроки, особенно в засушливые годы. Отдача от внесения минеральных удобрений повышается при посеве во второй половине мая месяца. Наиболее эффективно внесение азота и фосфора совместно. Увеличение урожайности яровой пшеницы от совместного внесения азотно-фосфорных удобрений достигает 5,0 ц/га. Соответственно увеличивается количество полученного зерна на единицу атмосферных осадков (таблица 5).

Потепление климата в северном Казахстане проявляется в виде атмосферной и почвенной засухи, суховеев, уровнем влагообеспеченности и жаркой погодой.

В последние годы в Северном Казахстане увеличилось количество жарких дней. Также установлено, что за последние 41 год количество жарких дней имеет тенденцию увеличения. Соответственно количество жарких дней становится важным агрометеорологическим фактором и их необходимо учитывать при оценке агрометеорологических условий, выборе технологических решений и выведении сортов.

Зонирование территории Казахстана по коэффициенту увлажнения К представлены в работах [7, 10], а по северным областям Казахстана в работах [11, 12, 13].

Эффективное использование атмосферных осадков зависит от сроков посева яровой пшеницы. По многолетним показателям максимальное количество продуктивных осадков в регионах Северного Казахстана выпадает в конце второй половины июня и в июле месяце. На основании данных закономерностей обоснованы сроки посева яровой пшеницы в периоды их максимальной потребностей во влаге для интенсивного роста и развития. На основании этих климатических показателей установлены оптимальные сроки посева яровой пшеницы 15-25 мая [15]. Анализ показывает, что данные сроки оправдывают себя до реального изменения периодов распределения летних осадков. В связи с изменением погоды, летний максимум осадков сдвинулся на июль – август месяцы.

Анализ урожайности яровой пшеницы в Акмолинской области за предыдущие 17 лет показывает, что она варьировала от 5,1 ц/га (2010 г.) до 15,5 ц/га (2011 г.). Количество осадков за сельскохозяйственный год в этот период составляло соответственно 251 мм и 565 мм. Средний урожай за эти годы составил 10,0 ц/га. Более высокая и меньшая вариация продуктивности яровой пшеницы формируется в умеренно-увлажнённой зоне на чернозёмных почвах. В этой зоне среднемноголетняя урожайность яровой пшеницы составляет 12,5 ц/га. В засушливой и сухой степи средняя продуктивность яровой пшеницы составляет 9,8 и 8,6 ц/га соответственно. В сухой степи урожайность яровой пшеницы варьирует от 3,1 до 19,4 ц/га.

Количество осадков не всегда определяет уровень урожайности и эффективность использования влаги. Например, в 2020 году количество осадков составило 409,1 мм и урожайность яровой пшеницы составила 11,3 ц/га. В 2022 году сумма осадков составила 256,7 мм и урожайность составила 11,5 ц/га (таблица 4). Соответственно и расход влаги. Существенное влияние оказывает распределение осадков в период вегетации яровой пшеницы по фазам развития. Средняя сумма осадков за сельскохозяйственный год за 2008-2024 гг. составила 353 мм. Между уровнем урожайности пшеницы и годовой суммой осадков установлена положительная корреляция 0,59. Это в верхних границах умеренной положительной корреляционной связи. Расход атмосферной влаги на формирование 1 ц зерна составляет в увлажнённые годы 23,5 мм в 2011 г. и в засушливые до 49,2 мм.

Внесение минеральных удобрений и эффективность использования атмосферных осадков повышается при посеве яровой пшеницы во второй половине мая месяца.

Относительно высокая эффективность удобрений отмечается при более позднем сроке посева. Прибавки от вариантов внесения удобрений при посеве 15 мая были на уровне 0,3-0,6 ц/га. Прибавки от удобрений при посеве 25 мая составили 1,9-5,0 ц/га. Эффективность удобрений повысилась многократно. При посеве в оптимальные сроки растения гораздо эффективнее используют элементы питания из почвы. При внесении удобрений, в свою очередь, повышается эффективность усвоения атмосферных осадков и почвенной влаги. При раннем посеве расход влаги на 1 ц зерна на удобренных фонах сократился на 0,5-1,1 мм или 2,0-4,5%. При посеве 25 мая внесение удобрений позволило снизить расход влаги на 2,5-5,5 мм или 11,6-25,6%. Экономия влаги на единицу продукции увеличилась в 5 раз. Количество зерна, произведённого на 1 мм осадков, увеличивается прямо пропорционально внесению удобрений. При более раннем посеве количество зерна на 1 мм осадков увеличивалось на 0,1-0,2 кг или 2,4-4,9%. При посеве 25 мая данный показатель увеличивался на 0,7-1,7 кг или 15,2-37,0%. В среднем за 3 года самый низкий урожай зерна был получен при посеве 12-13 мая по неудобренному фону и составил 12,5 ц/га. Самый высокий урожай пшеницы был получен при посеве 22-23 мая с одновременным внесением азотно-фосфорных удобрений и составил 19,3 ц/га. Это выше контрольного варианта на 6,8 ц/га или 54,4%. Полученные результаты показывают, что при посеве пшеницы в оптимальные сроки и улучшении условий питания можно добиться высокого синергизма этих факторов.

Анализ взаимосвязи агрометеорологических показателей с фактической урожайностью яровой пшеницы в Акмолинской области в различные по погодным условиям годы показывает на тесную корреляционную зависимость уровня урожайности яровой пшеницы от уровня атмосферных осадков в течение вегетационного периода. Результаты исследований показали, что ранние сроки посева яровой пшеницы не повышают продуктивность яровой пшеницы по сравнению с поздними. Применение азотно-фосфорных удобрений существенно не увеличивает продуктивность яровой пшеницы при ранних сроках посева. Исследования ещё раз подтверждают преимущество поздних сроков посева даже при существенном изменении режима выпадения летних осадков. Окупаемость применения азотно-фосфорных удобрений существенно выше при поздних сроках посева яровой пшеницы. Для увеличения урожайности и получения зерна высокого качества необходимо внесение как азотных, так и фосфорных удобрений. В предыдущих исследованиях не получены существенные различия в зависимости от различных сроков посева [15].

В результате исследований установлена достаточно высокая зависимость урожайности яровой пшеницы как от сумм осадков за вегетационный период, так и от сумм эффективных температур воздуха, коэффициента увлажнения K и показателя засушливости ГТК, с коэффициентами

корреляции от 0,40 до 0,73. Отрицательная зависимость урожайности от суммы эффективных температур показывает, что температурный режим воздуха находится выше оптимального уровня для развития яровой пшеницы. Для повышения продуктивности пашни, снижения себестоимости единицы продукции внесение азотно-фосфорных удобрений позволяет эффективно использовать агроклиматические ресурсы при посеве во второй половине мая месяца. Полученные результаты являются существенным фактором адаптации к изменению климата и повышению оправданной отдачи от использования минеральных удобрений.

Заключение

Результаты исследований позволяют сформулировать следующие выводы.

Анализ показывает, что для формирования устойчивой продуктивности яровой пшеницы необходимо размещать ее в зависимости от природно-климатических исходя из коммерческих интересов сельхозтоваропроизводителей. Более высокий урожай яровой пшеницы формируется в зоне более плодородных обыкновенных чернозёмов умеренно увлажнённой степи (районы Бурабайский, Зерендинский, Сандыктауский). Средняя урожайность пшеницы по данной зоне за 2008-2024 годы составила 12,5 ц/га. В зоне менее плодородных южных чернозёмов умеренно засушливой степи (районы Аккольский, Астраханский, Атбасарский, Биржан-сал, Буландынский, Жаксынский, Шортандинский) урожай был ниже и составил 9,8 ц/га. На тёмно-каштановых и каштановых почвах сухостепной и пустынно-степной зон (районы Аршалынский, Егиндыкольский, Есильский, Ерейментауский, Жаркаинский, Коргалжынский, Целиноградский) средний урожай пшеницы за этот период составил 8,6-8,7 ц/га. Между урожайностью пшеницы и годовой суммой осадков соблюдается умеренная положительная корреляция, которая имеет закономерность. В отдельные годы продуктивность пшеницы зависит не только от общего количества осадков, но и их распределения в течение вегетации. Эффективность использования атмосферных осадков существенно повышается при внесении азотно-фосфорных удобрений. При посеве в оптимальные сроки урожайность пшеницы повышается в полтора раза и увеличивается выход зерна на каждый миллиметр выпавших осадков. Снижается расход влаги на каждый центнер произведённого зерна. Для эффективного использования агроклиматических ресурсов необходимо применять современные климат-ориентированные почво-, ресурсосберегающие системы обработки почвы и посева, управлять питанием растений дифференцированно по природным зонам.

Вклад авторов

КМ, АК: формулировка целей и задач исследования, анализ полученных данных, написание текста статьи. ЖБ, СБ, ОБ: сбор экспериментальных данных, подготовка обзора литературы, вычитка, редактирование. Все авторы прочитали, ознакомились и одобрили окончательную редакцию рукописи для передачи к публикации.

Информация о финансировании

Настоящие исследования проведены в рамках реализации научно-технической программы ИРН BR24993222 «Построение системы поддержки принятия решений для природно-хозяйственного обустройства территории Северо-Казахстанской области в контексте устойчивого развития», финансируемой Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования на 2024-2026 гг.

Список литературы

- 1 Бюро Национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. (2022). <https://stat.gov.kz/ru/region/>
- 2 Байшоланов, С.С., Клещенко, А.Д., Мусатаева, Г.Б., Габбасова, М.С., Жакиева, А.Р., Муканов, Е.Н., Акшалов, К.А., Чернов, Д.А. (2017). *Агроклиматические ресурсы Акмолинской области: научно-прикладной справочник*. Астана: 133.

3 Акшалов, К.А., Байшоланов, С.С., Әуесханов, Д., Баймуканова, О.Н. (2022). Анализ агрометеорологических условий вегетационного периода и урожайность яровой пшеницы в условиях Акмолинской области Республики Казахстан. *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова*. 605, 41-57.

4 Байшоланов, С.С., Павлова, В.Н., Жакиева, А.Р., Чернов, Д.А., Габбасова, М.С. (2018). Агроклиматические ресурсы Северного Казахстана. *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 1(367), 168-184.

5 Байшоланов, С.С. (2010). О повторяемости засух в зерносеющих областях Казахстана. *Гидрометеорология и экология*, 3, 27-38.

6 Байшоланов, С.С. (2017). *Уязвимость и адаптация сельского хозяйства Республики Казахстан к изменению климата*. Монография. ПРООН. Астана: 128.

7 Акшалов, К.А., Байшоланов, С.С., Баймуканова, О.Н., Ауезханов, Д.А., Кужинов, М.Б. (2022). Анализ агрометеорологических условий вегетационного периода 2020 и 2021 годов в Северном Казахстане: особенности и меры адаптации к изменению климата. *Вестник Науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина*, 3(114), 161-176.

8 Байшоланов, С.С., Полевой, А.Н. (2017), Агроклиматическое зонирование северной зерносеющей территории Казахстана. *Украинский гидрометеорологический журнал*, 19, 82-89.

9 Baisholanov, S., Akshalov, K., Mukanov, Y., Zhumabek, B., Karakulov, E. (2025). Agroklimaticheskoe zonirowanie territorii Severnogo Kazakhstana dlya zonirowaniya selskokhozyaystvennykh kultur v usloviyakh izmeneniya klimata. *Climate*, 13(1), 3. DOI: 10.3390/cli13010003.

10 Lopez Fernandez, M.L., Zhumabayev, D., Marco Garcia, R., Baigarin, K., Lopez Fernandez, M.S., Baisholanov, S. (2020). Оценка биоклиматических изменений в Казахстане, конец XX середина XXI веков, согласно прогнозу *PRECIS*. *PLoS ONE*, 15(10), e0239514. DOI: 10.1371/journal.pone.0239514.

11 Байшоланов, С.С., Павлова, В.Н., Мусатаева, Г.Б., Габбасова, М.С., Жакиева, А.Р., Муканов, Е.Н., Акшалов, К.А., Чернов, Д.А. (2017). *Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник*. Астана: 125.

12 Байшоланов, С.С., Клещенко, А.Д., Мусатаева, Г.Б., Габбасова, М.С., Жакиева, А.Р., Муканов, Е.Н., Акшалов, К.А., Чернов, Д.А. (2017). *Агроклиматические ресурсы Павлодарской области: научно-прикладной справочник*. Астана: 127.

13 Байшоланов, С.С., Павлова, В.Н., Мусатаева, Г.Б., Габбасова, М.С., Жакиева, А.Р., Муканов, Е.Н., Кужинов, М.Б., Чернов, Д.А. (2017). *Агроклиматические ресурсы Костанайской области: научно-прикладной справочник*. Астана: 139.

14 Отчёт о научно-исследовательской работе по научно-технической программе: «Разработать и внедрить устойчивые системы земледелия для рентабельного производства сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата для различных почвенно-климатических зон Казахстана». (2025). НПЦ ЗХ А.И.Бараева, Шортанды: 320.

15 Рекомендации. Весенне-полевые работы в хозяйствах Акмолинской области в 2025 году. Научный: НПЦ зернового хозяйства им. А.И.Бараева, Шортанды: 76.

16 Полевой. А.Н. (1992). *Сельскохозяйственная метеорология*. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 424.

17 Справочник по показателям и индексам засушливости. (2016). ВМО. 173, 60.

18 Страшная, А.И., Пурина, И.Э., Чуб, О.В., Задорнова, О.И., Чекулаева, Т.С. (2013). Автоматизированная технология мониторинга и расчета количества декад с почвенной и атмосферно-почвенной засухой под зерновыми культурами. *Труды Гидрометцентра России*, 349, 150-160.

19 Павлова, В.Н., Calanca, P., Караченкова, А.А. (2018). *Продуктивность яровой пшеницы в степной зоне России и Казахстана при современном изменении климата. Монография: Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири*. Под ред. Сычева В.Г. и Мюллера Л., Москва: 3, 263-267.

20 Gaudin, A.C.M., Tolhurst, T.N., Ker, A.P., Janovicek, K., Tortora, C., Martin, R.C., et al. (2015). Увеличение разнообразия сельскохозяйственных культур смягчает колебания погоды и повышает стабильность урожайности. *PLoS ONE*, 10(2), e0113261. DOI: 10.1371/journal.pone.0113261.

21 Sustainable Land-Use Resources in Drought-Prone Regions of Kazakhstan and Implications for the Wider Central Asian Region Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021a).

22 Wang, E., Martre, P., Zhao, Z.G., Ewert, F., Maiorano, A., Rotter, R.P., Kimball, B.A., Ottman, M.J., Wall, G.W., White, J.W., et al. (2017). The uncertainty of crop yield projections is reduced by improved temperature response functions. *Nat. Plants*, 3, 17102.

23 Liu, B., Liu, L., Asseng, S., Zou, X., Li, J., Cao, W., Zhu, Y. (2016). Modelling the effects of heat stress on post-heading durations in wheat: A comparison of temperature response routines. *Agric. For. Meteorol.*, 222, 45-58.

24 Maiorano, A., Martre, P., Asseng, S., Ewert, F., Müller, C., Rötter, R.P., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Wallach, D., Wang, E., et al. (2017). Crop model improvement reduces the uncertainty of the response to temperature of multi-model ensembles. *Field Crop. Res.*, 202, 5-20.

25 Hernandez-Ochoa, I.M., Asseng, S. (2018). Cropping Systems and Climate Change in Humid Subtropical Environments. *Agronomy*, 8, 19. DOI: 10.3390/agronomy8020019.

References

1 *Biuro natsional'noi statistiki. Agentstva po strategicheskomu planirovaniu i reformam Respubliki Kazakhstan.* (2022). <https://stat.gov.kz/ru/region/>

2 Baisholanov, S.S., Kleshchenko, A.D., Musataeva, G.B., Gabbasov, a M.S., Zhakieva, A.R., Mukanov, E.N., Akshalov, K.A., Chernov, D.A. (2017). *Agroklimaticheskie resursy Akmolinskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik.* Astana: 133.

3 Akshalov, K., Baishelanov, S., Aueskhanov, D., Baimukanova, O. (2022). Analiz agrometeorologicheskikh uslovii vegetatsionnogo perioda i urozhainost yarovoi pshenitsy v usloviyakh Akmolinskoi oblasti Respubliki Kazakhstan. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova*, 605, 41-57.

4 Baisholanov, S.S., Pavlova, V.N., Zhakieva, A.R., Chernov, D.A., Gabbasova, M.S. (2018). Agroklimaticheskie resursy Severnogo Kazakhstana. *Gidrometeorologicheskie issledovaniia i prognozy.* 1(367), 168-184.

5 Baisholanov, S.S. (2010). O povtoriaemosti zasukh v zernoseiushchikh oblastiakh Kazakhstana. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 3, 27-38.

6 Baisholanov, S.S. (2017). *Uiazvimost i adaptatsiia sel'skogo khoziaistva Respubliki Kazakhstan k izmeneniiu klimata. Monografiya.* PROON. Astana: 128.

7 Akshalov, K.A., Baisholanov, S.S., Baymukanova, O.N., Auezkhanov, D.A., Kuzhinov, M.B. (2022). Analiz agrometeorologicheskikh uslovii vegetatsionnogo perioda 2020 i 2021 godov v Severnom Kazakhstane: osobennosti i mery adaptatsii k izmeneniiu klimata. *Vestnik Nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina*, 3(114), 161-176.

8 Baisholanov, S.S., Polevoi, A.N. (2017). Agroklimaticheskoe zonirowanie severnoi zernoseiushchei territorii Kazakhstana. *Ukrainskii gidrometeorologicheskii zhurnal*, 19, 82-89.

9 Baisholanov, S., Akshalov, K., Mukanov, Y., Zhumabek, B., Karakulov, E. (2025). Agroklimaticheskoe zonirowanie territorii Severnogo Kazakhstana dlya zonirowaniya selskokhozyaystvennykh kultur v usloviyakh izmeneniya klimata. *Climate*, 13(1), 3. DOI: 10.3390/cli13010003.

10 Lopez Fernandez, M.L., Zhumabayev, D., Marco Garcia, R., Baigarin, K., Lopez Fernandez, M.S., Baisholanov, S. (2020). Otsenka bioklimaticheskikh izmeneniy v Kazakhstane, konets XX seredina XXI vekov, soglasno prognozu *PRECIS. PLoS ONE*, 15(10), e0239514. DOI: 10.1371/journal.pone.0239514.

11 Baisholanov, S.S., Pavlova, V.N., Musataeva, G.B., Gabbasova, M.S., Zhakiyeva, A.R., Mukanov, E.N., Akshalov, K.A., Chernov, D.A. (2017). *Agroklimaticheskie resursy Severo-Kazakhstanskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik.* Astana: 125.

12 Baisholanov, S.S., Kleshchenko, A.D., Musataeva, G.B., Gabbasova, M.S., Zhakiyeva, A. R., Mukanov, E.N., Akshalov, KA., Chernov, D.A. (2017). *Agroklimaticheskie resursy Pavlodarskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik.* Astana: 127.

13 Baisholanov, S.S., Pavlova, V.N., Musataeva, G.B., Gabbasova, M.S., Zhakiyeva, A.R., Mukanov, E.N., Kuzhinov, M.B. Chernov, D.A. (2017). *Agroklimaticheskie resursy Kostanaiskoi oblasti: nauchno-prikladnoi spravochnik*. Astana: 139.

14 Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote po nauchno-tekhnicheskoi programme: «Razrabotat' i vnedrit' ustoichivye sistemy zemledeliya dlya rentabel'nogo proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata dlya razlichnykh pochvenno-klimaticheskikh zon Kazakhstana». (2025). NPTsZKh A.I. Baraeva, Shortandy. 320.

15 Vesenne-polevye raboty v hozyaystvakh Akmolinskoy oblasti v 2025 godu: rekomendatsii – Nauchnyy: NPTs zernovogo hozyaystva im. A.I. Baraeva, Shortandy. 76.

16 Polevoi, A.N. (1992). *Sel'skokhoziaistvennaia meteorologiya*. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat, 424.

17 Spravochnik po pokazateliam i indeksam zasushlivosti. (2016). VMO, 173, 60.

18 Strashnaia, A.I., Purina, I.E., Chub, O.V., Zadornova, O.I., Chekulaeva, T.S. (2013). Avtomatizirovannaia tekhnologiya monitoringa i rascheta kolichestva dekad s pochvennoi i atmosferno-pochvennoi zasukhoi pod zernovymi kul'turami. *Trudy Gidromettsentra Rossii*, 349, 150-160.

19 Pavlova, V.N., Calanca, P., Karachenkova, A.A. (2018). *Produktivnost' yarovoi pshenitsy v stepnoi zone Rossii i Kazakhstana pri sovremennom izmenenii klimata*. In V.G. Sychev L. Myuller (Eds.), *Novye metody i rezultaty issledovaniia landshaftov v Evrope, Tsentralnoi Azii i Sibiri*, 3, 263-267.

20 Gaudin, A.C.M., Tolhurst, T.N., Ker, A.P., Janovicek, K., Tortora, C., Martin, R.C., et al. (2015). Uvelichenie raznoobraziia sel'skokhoziaistvennykh kultur smiagchaet kolebaniia pogody i povyshaet stabil'nost' urozhainosti. *PLoS ONE*, 10(2), e0113261. DOI: 10.1371/journal.pone.0113261.

21 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021a). *Sustainable land-use resources in drought-prone regions of Kazakhstan and implications for the wider Central Asian region*.

22 Wang, E., Martre, P., Zhao, Z.G., Ewert, F., Maiorano, A., Rotter, R., Kimball, B.A., Ottman, M.J., Wall, G.W., White, J.W., et al. (2017). The uncertainty of crop yield projections is reduced by improved temperature response functions. *Nat. Plants*, 3, 17102.

23 Liu, B., Liu, L., Asseng, S., Zou, X., Li, J., Cao, W., Zhu, Y. (2016). Modelling the effects of heat stress on post-heading durations in wheat: A comparison of temperature response routines. *Agric. For. Meteorol.*, 222, 45-58.

24 Maiorano, A., Martre, P., Asseng, S., Ewert, F., Müller, C., Rötter, R.P., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Wallach, D., Wang, E., et al. (2017). Crop model improvement reduces the uncertainty of the response to temperature of multi-model ensembles. *Field Crops Res.*, 202, 520.

25 Hernandez-Ochoa, I.M., Asseng, S. (2018). Cropping systems and climate change in humid subtropical environments. *Agronomy*, 8, 19. DOI: 10.3390/agronomy8020019.

Қазақстанның құрғақ жағдайындағы жаздық бидайдың агроклиматтық ресурстары мен өнімділігі: талдау, шешімдер, әлеует

Кужинов М.Б., Акшалов К.А., Жұмабек Б., Байшоланов С.С., Баймуканова О.Н.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Солтүстік Қазақстанның қуаңшылық жағдайында жаздық бидай өнімділігінің ауытқуы атмосфералық жауын-шашын мөлшері мен түсу мерзіміне байланысты. Корреляция коэффициенті 81,5%-ды құрайды. Ауа райы жағдайлары әртүрлі жылдары жаздық бидай өнімділігінің айырмашылығы 2–3 есеге дейін жетеді. Климаттың өзгеруі мен жаздық бидайдың вегетациялық кезеңіндегі жауын-шашын түсу заңдылықтарын талдау негізінде тікелей себу жүйесінде минералдық тыңайтқыштарды қолдану және себу мерзімдерін оңтайландыру арқылы себу мерзімдерін қарқындатудың өзара байланысы мен ықпалын бағалау бойынша зерттеулер жүргізілді. Зерттеудің мақсаты – агрометеорологиялық жағдайларды бағалау, атмосфералық жауын-шашындарды тиімді пайдалану, егіндік мерзімдерді интенсификациялау негізінде жаздық бидайдың тұрақты өнімділігін арттыру.

Материалдар мен әдістер. Жаздық бидай өнімділігінің ауа райының өзгеруіне және қарқындалу құралдарының ықпалына тәуелділігін бағалау үшін 2008-2024 жылдар аралығындағы

Ақмола облысы әкімшілік аудандары мен табиғи-климаттық аймақтары бойынша көпжылдық агрометеорологиялық көрсеткіштер мен жаздық бидай өнімділігі деректері пайдаланылды. Өнімділік пен атмосфералық жауын-шашын мөлшері арасындағы байланысты анықтау үшін корреляциялық талдау әдістері қолданылды. Далалық зерттеулер себу мерзімдерін, фосфорлы және азот-фосфорлы тыңайтқыштарды қолдануды, тікелей себу технологиясын зерттеуді қамтыды.

Нәтижелер. Жаздық бидайды оңтайлы себу мерзімінің басында екенде минералдық тыңайтқыштардың әлеуеті толық әрі тиімді жүзеге аспайды. Фосфорлы және азот-фосфорлы тыңайтқыштарды қолданудың ең жоғары рентабельдігі 20 мамырдан кейінгі себу кезінде байқалады. Азот-фосфорлы тыңайтқыштарды енгізу өнімділікті 35,0%-ға дейін арттырады, мамыр айының екінші жартысында себілген егістікте 1 ц астық қалыптастыруға жұмсалатын атмосфералық ылғал шығынын 24,0-25,6%-ға дейін төмендетеді және климаттық ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Атмосфералық жауын-шашынның таралу режимінің өзгеруіне байланысты жаздық бидайды оңтайлы мерзімнің екінші жартысында сеуіп, өсімдіктердің минералдық қоректенуін жақсарту арқылы өсіру технологиясын қарқындату вегетациялық кезеңнің екінші жартысындағы жауын-шашынды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл су тұтынуды азайтуға, жаздық бидайдың өнімдік әлеуетін толық іске асыруға, өнімділікті арттыруға және Ақмола облысы жағдайында өзгермелі климатта астық сапасын жақсартуға ықпал етеді. Азот-фосфорлы тыңайтқыштарды енгізу су тұтынуды 25,6%-ға төмендетеді.

Кілт сөздер: агроклиматтық ресурстар; жаздық бидай; өнімділік; себу мерзімі; тыңайтқыш; жауын-шашынның тиімділігі.

Agroclimatic resources and productivity of spring wheat in the arid conditions of Kazakhstan: analysis, solutions, and potential

Marat B. Kuzhinov, Kanat A. Akshalov, Bakytbek Zhumabek, Saken S. Baisholanov
Olesya N. Baimukanova

Abstract

Background and Aim. In the arid conditions of Northern Kazakhstan, variability of spring wheat yield is associated with the amount and timing of atmospheric precipitation with a reported correlation coefficient of 81.5%. Differences in spring wheat yield between years with contrasting weather conditions reach two- to threefold values. Based on the analysis of climate change and precipitation patterns during the growing season of spring wheat, this study examines the relationship and impact of intensifying sowing dates through the application of mineral fertilizers and optimization of sowing time under a no-till system. The aim of the study is to assess agrometeorological conditions, improve the efficiency of rainfall use, and ensure stable spring wheat productivity based on the intensification of sowing dates.

Materials and Methods. To evaluate the productivity of spring wheat under varying weather conditions and the influence of intensification measures, long-term agrometeorological data and spring wheat yield data by administrative districts and natural-climatic zones of Akmola region for the period 2008-2024 were used. Correlation analysis methods were applied to assess the relationship between yield and the amount of atmospheric precipitation. Field experiments included the study of sowing dates, application of phosphorus and nitrogen-phosphorus fertilizers, and no-till practices.

Results. When sowing spring wheat at the beginning of the optimal sowing period, the potential of mineral fertilizers is not realized efficiently. The highest profitability of phosphorus and nitrogen-phosphorus fertilizer application is achieved when sowing after May 20. The use of nitrogen-phosphorus fertilizers increases spring wheat yield by up to 35.0%, reduces atmospheric moisture consumption for the formation of 1 centimeter of grain by 24.0-25.6% when sowing in the second half of May, and enables more efficient use of climatic resources.

Conclusion. Due to changes in the distribution pattern of atmospheric precipitation, intensifying spring wheat cultivation technology by sowing in the second half of the optimal period and improving

mineral nutrition allows effective use of precipitation occurring in the second half of the growing season. This approach ensures reduced water consumption, realization of the production potential of spring wheat, increased yield, and improved grain quality under the changing climate conditions of the Akmola region. The application of nitrogen-phosphorus fertilizers reduces water consumption by 25.6%.

Keywords: agro-climatic resources; spring wheat; yield; sowing dates; fertilizers; and efficiency of precipitation use.

Еуразиялық агротехникалық журнал = Евразийский агротехнический журнал. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2026. -№ 1 (129). - Р.-276-289. - ISSN 3135-243X, 3135-2448

doi.org/10.51452/eaj.2026.1(129).2142

УДК 330.322.16

Исследовательская статья

Экономическое обоснование влияния инвестиции на выпуск сельскохозяйственной продукции Казахстана

Найзабекова А.А. , Искакова З.Д. 

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Найзабекова А.А.: aiigevra@gmail.com

Соавтор: (1: ЗИ) izd1944@mail.ru

Получено: 31.01.2026 **Принято:** 12.03.2026 **Опубликовано:** 30.03.2026

Аннотация

Предпосылки и цель. В современных условиях Казахстана эффективность выпуска сельхозпродукции зависит от таких факторов, как инвестиции, человеческие ресурсы и капиталовложения. Экономическое обоснование, отражающее влияние этих показателей на объем выпускаемой продукции, позволит определить влияние инвестиции на выпуск продукции. Целью исследования - является экономический и статистический анализ, описывающий взаимосвязь инвестиции и человеческого ресурса с валовым выпуском продукции.

Материалы и методы. Для анализа использованы данные Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. В качестве базовой модели использована производственная функция Кобба-Дугласа, описывающая зависимость выпуска от капитала и труда. Применена модель Vector Error Correction Model. ВЕСМ применяется, когда несколько показателей (выпуск продукции, инвестиции, человеческий фактор) имеют долгосрочную коинтеграцию, при этом их краткосрочная динамика может расходиться. Для анализа временных рядов, где важно разделить краткосрочные эффекты (немедленное влияние инвестиций, цен) и долгосрочные эффекты (устойчивое равновесие между выпуском и факторами) использовалась ARDL-модель.

Результаты. Полученные результаты показывают статистическую значимость капитала, труда, эластичность каждого составила 0,42 и 0,53 соответственно. Суммарная отдача от масштаба составляет $\alpha+\beta=0,95$, что чуть ниже единицы, которая указывает на убывающую отдачу при одновременном увеличении всех факторов. Это подчёркивает необходимость технологического обновления, повышения эффективности и внедрения цифровых решений. Результаты модели демонстрируют высокую способность модели $R^2=0,98$ подтверждая её применимость для стратегического анализа. Результаты подтверждают значимость капитала и труда. Эластичность выпуска по капиталу положительна и менее единицы, отражая умеренную отдачу от инвестиций, в то время как эластичность по труду выше капитала, что соответствует структуре АПК, остающейся существенно зависимой от человеческого фактора. Суммарная отдача от масштаба $\alpha+\beta$ близка к единице, но несколько ниже, что указывает на убывающую отдачу от одновременного пропорционального увеличения всех факторов и на необходимость технологического обновления для перехода к высокой эффективности.

Закключение. Экономическое обоснование может быть использовано для выявления связей влияния капитала и человеческого капитала на увеличение выпуска агропродукции. Результаты способствуют повышению объёма получаемой продукции, тем самым развитию АПК, также позволяют рекомендовать наиболее продуктивные стратегии.

Ключевые слова: инвестиции; сельское хозяйство; капиталовложения в АПК; выпуск продукции; экономическое моделирование.

Введение

Сельское хозяйство, как базовая составляющая агропромышленного комплекса (АПК) играет ключевую роль в экономике. Как подчёркивают современные авторы *M.R. Das* и *M.A. Hossain*, данный сектор остаётся важнейшей составляющей экономики любой современной страны, привлекая значительное внимание и играя ключевую роль в обеспечении населения и гарантировании продовольственной безопасности [1].

В центре научных дискуссий последних лет находится вопрос интенсификации аграрного сектора через механизмы накопления капитала и оптимизации инвестиционной политики. Ряд исследователей *Bojnec, Š., Fertó, I., Finagina, O., Prodanova, L., Zinchenko, O., Buriak, I., Gavrylovskiy, O., Khoroshun, Y.* классифицируют инвестиции не просто как финансовую категорию, а как базовое условие формирования производственного потенциала, прямо влияющее на максимизацию мощностей и конкурентоспособность хозяйств [2, 3].

Особое внимание в прикладных исследованиях уделяется синергетическому эффекту факторов производства. Так, согласно выводам *Kamenya, MA* и *Kandel, G.P.*, инвестиции в инфраструктуру и ирригацию демонстрируют наибольшую эффективность лишь при их сочетании с качественным развитием трудовых ресурсов. Однако, несмотря на наличие теоретического базиса, эмпирические оценки эластичности выпуска по капиталу и труду часто ограничены статичными методами [4, 5].

В данной работе, в отличие от фрагментарных подходов, предлагается комплексная методологическая триада функции Кобба–Дугласа, моделей ARDL и VECM.

Классический подход, базирующийся на функции Кобба–Дугласа, остается фундаментом для оценки эластичности выпуска. Современные авторы (*S. Pawlak, A. Kołodziejczak, 2020*) доказывают, что в условиях технической модернизации АПК влияние капитала начинает превалировать над трудовыми ресурсами [6]. Исследования последних лет подчеркивают необходимость учета «качества» инвестиций, а не только их объема, что требует точной калибровки коэффициентов эластичности для конкретных регионов.

Модель Кобба–Дугласа в своих работах используют широкий круг современных исследователей *O. Vasyl'yeva (2021–2022), L.J. Sangulla (2025, Танзания), R.K. Mandal (2025)* для прогнозирования ресурсного потенциала агросектора и в формировании государственной политики в сфере агропромышленного комплекса. Наряду с преимуществами, данные авторы выделяют ограничения по игнорированию климатических рисков и технологического прогресса [7, 8, 9].

Несмотря на достаточно высокую адекватность результатов вышеуказанного моделирования, такие авторы как *В.Л. Макарова, С.А. Айвазяна, М.Ю. Афанасьева, А.Р. Бахтизина* и *А.М. Нанаян* также отмечают определенных её недостатков в виде отсутствия учета временных лагов, которые особенно важны для сельского хозяйства [10]. По этой причине в нашем исследовании уместна модель ARDL (Autoregressive Distributed Lag, Авторегрессионная модель с распределёнными лагами.), которая разделяет краткосрочные и долгосрочные эффекты.

Модель ARDL позволяет разделить краткосрочные шоки (например, от цен на удобрения) и долгосрочный эффект от инвестиций в технику и человеческий капитал. Также такие факторы, как климат, структурные реформы, сезонность не ломают результаты. Многочисленные авторы подтверждают высокую эффективность ARDL именно для такой задачи. К примеру, современные зарубежные ученые *Н.А. Абдельгаввад, С.Бакари* и *Эль.Вериемми, М.Р. Мбок* в своих трудах по определению влияния сельскохозяйственной занятости и инвестиций на объем выпускаемой сельскохозяйственной продукции и экономический рост в целом используют модель ARDL, широкое применение которой объясняется её практичностью в соответствующих исследованиях [11, 12, 13].

Если модель ARDL удобнее при смешанной стационарности и малых выборках, VECM — при явной коинтеграции нескольких переменных и необходимости анализа системы в целом.

Данная модель широко используется современными учеными *Pervez M, Ahmed Z, Uddin M S, Rahman M, Л.Эмпонза, Philip Ifeakachukwu Nwosa* конкретно в целях определения влияния капитала наряду с трудовыми ресурсами [14, 15, 16]. По мнению вышеуказанных авторов, применение модели VECM дало положительный эффект в их исследованиях по части

долгосрочной эластичности по инвестициям (капиталу) и трудовому капиталу по сравнению краткосрочным корректировкам, также учитывает обратные связи.

Так, синтез вышеупомянутых моделей позволяет не только подтвердить значимость факторов, но и определить их оптимальные комбинации, обеспечивающие максимальный выпуск продукции сельского хозяйства.

Научная новизна работы заключается в разработке прикладных рекомендаций для оценки факторов роста АПК Казахстана, основанного на адаптации моделей Кобба-Дугласа, ARDL и VECM к данным аграрного сектора в период 2010–2024 годы. Прикладная значимость подтверждается получением количественных параметров долгосрочного равновесия (VECM) и краткосрочных эффектов (ARDL), что позволяет государственным органам обосновывать объемы субсидирования и прогнозировать отдачу от вложений в основной капитал и трудовые ресурсы регионального АПК.

Таким образом, целью данного исследования является определение влияния инвестиционных затрат в сельское хозяйство на эффективность выпуска сельскохозяйственной продукции с помощью экономической модели.

Материалы и методы

Развитие АПК Республики Казахстан требует построения эконометрических моделей, которые позволяют объяснить взаимосвязь между инвестициями и выпуском продукции. Для этого используется сочетание классической производственной функции и динамических моделей временных рядов.

Прежде всего, в качестве базовой модели применяется производственная функция Кобба–Дугласа. Она описывает зависимость выпуска от капитала и труда (1):

$$Y_t = A \times K_t^\alpha \times L_t^\beta, \quad (1)$$

где, Y_t – выпуск продукции АПК;

K_t – инвестиции в основной капитал;

L_t – трудовые ресурсы;

A – технологический уровень;

α и β – эластичности выпуска по капиталу и труду.

Коэффициент α отражает эластичность выпуска по капиталу, в то время как коэффициент β отражает эластичность выпуска по труду.

Особое значение имеет сумма коэффициентов $\alpha + \beta$, которая показывает отдачу от масштаба производства. Если $\alpha + \beta = 1$, то производство характеризуется постоянной отдачей от масштаба: удвоение капитала и труда приводит к удвоению выпуска. Если сумма меньше единицы, наблюдается убывающая отдача, а если больше единицы – возрастающая отдача, что свидетельствует о синергетическом эффекте от совместного роста капитала и труда.

Таким образом, коэффициенты α и β в модели Кобба-Дугласа позволяют не только количественно оценить влияние инвестиций и труда на выпуск продукции, но и определить структуру дохода между факторами производства, а также выявить характер отдачи от масштаба в АПК.

Для временных лагов применяется модель ARDL (Autoregressive Distributed Lag, Авторегрессионная модель с распределёнными лагами), которая разделяет краткосрочные и долгосрочные эффекты (2):

$$\Delta Y_t = \phi(Y_{t-1} - \theta_1 K_{t-1} - \theta_2 L_{t-1}) + \sum_i \psi_i \Delta K_{t-i} + \sum_j \eta_j \Delta L_{t-j} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Здесь ϕ отражает скорость корректировки к долгосрочному равновесию, θ_1 и θ_2 – долгосрочные эластичности выпуска по капиталу и труду, а ψ_i, η_j – краткосрочные эффекты с лагами.

Применение ARDL модели к данным АПК Республики Казахстан позволяет не только количественно оценить влияние инвестиций на выпуск продукции, но и выявить различие между краткосрочными и долгосрочными эффектами.

Важным элементом модели является коэффициент корректировки (ϕ), который характеризует скорость возвращения экономики к равновесному состоянию после внешнего шока.

Практическое применение ARDL модели заключается в возможности построения как краткосрочных, так и долгосрочных прогнозов. В краткосрочной перспективе модель позволяет оценить, каким образом рост инвестиций в 2023-2024 годах отразится на выпуске продукции в 2025-2026 годах. В долгосрочном горизонте можно определить устойчивую траекторию развития АПК при сохранении текущей доли инвестиций (около 4-5% от общего объёма). Кроме того, ARDL модель даёт возможность проводить сценарный анализ: сравнивать эффект от увеличения инвестиций на 10%, 20% и 30% в различных подсекторах – растениеводстве, животноводстве и услугах. Такой подход позволяет не только оценить эффективность текущей инвестиционной политики, но и сформировать рекомендации по её оптимизации в целях ускорения роста выпуска и повышения устойчивости аграрного сектора.

Если рассматривать не только выпуск и инвестиции, но и другие факторы – например, производительность труда – то используется модель VECM (Vector Error Correction Model). VECM применяется, когда несколько экономических показателей (например, выпуск продукции, инвестиции, человеческий фактор, цены) имеют долгосрочную взаимосвязь (коинтеграцию), но при этом их краткосрочная динамика может расходиться.

Vector (векторная) – модель учитывает сразу несколько переменных, которые влияют друг на друга.

Error Correction (коррекция ошибок) – механизм, который «возвращает» систему к долгосрочному равновесию, если она отклонилась.

Model (модель) – система уравнений, описывающая совместное движение переменных.

Она описывается системой уравнений (3):

$$\Delta Y_t = \Pi \times Y_{t-1} + \sum_i \Gamma_i \times \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (3)$$

где, Y_t – вектор переменных (выпуск, инвестиции, человеческий ресурс, цены);

Π – матрица коинтеграции, отражающая долгосрочные связи;

Γ_i – матрица краткосрочных коэффициентов.

VECM позволяет строить импульсные отклики, показывающие, как шок в инвестициях влияет на выпуск в течение нескольких лет.

Например, применение векторной модели коррекции ошибок (VECM) к АПК Республики Казахстан позволяет рассматривать выпуск продукции, инвестиции и внешние факторы как единую систему взаимосвязанных показателей. В рамках данной модели формируется вектор переменных, включающий валовой выпуск продукции сельского хозяйства (Y), инвестиции в основной капитал (K), экспорт сельхозпродукции (X) и мировые цены на продовольствие (P). Эти показатели не существуют изолированно: между ними формируются долгосрочные коинтеграционные связи, отражающие устойчивое равновесие, и краткосрочные отклонения, возникающие под воздействием внешних шоков.

Долгосрочная часть модели показывает, что выпуск продукции АПК в равновесии зависит от уровня инвестиций и экспортных возможностей. Например, рост инвестиций на 10% в долгосрочной перспективе приводит к увеличению выпуска на 2-3%, что отражает устойчивую эластичность капитала. Экспорт и мировые цены также формируют долгосрочные зависимости, определяя конкурентоспособность казахстанской продукции на внешних рынках.

Краткосрочная динамика в VECM описывается лаговыми переменными, которые фиксируют немедленное влияние изменений инвестиций, экспорта и цен на выпуск. Так, краткосрочный рост инвестиций может дать прирост выпуска уже в течение одного года, но этот эффект обычно менее выражен, чем долгосрочный. Важным элементом модели является механизм коррекции ошибок: если выпуск отклоняется от долгосрочной траектории, коэффициент коррекции показывает скорость возврата к равновесию. Например, значение -0,3 означает, что около 30% отклонения устраняется в течение одного года.

Следовательно, схема VECM для АПК Казахстана отражает взаимосвязь между выпуском, инвестициями, экспортом и мировыми ценами, разделяя краткосрочные и долгосрочные

эффекты. Она позволяет не только объяснить текущую динамику, но и построить прогнозы, а также оценить последствия инвестиционных и внешнеэкономических шоков для устойчивости аграрного сектора.

Таким образом, последовательное применение трёх моделей – Кобба-Дугласа, ARDL и VECM – обеспечивает комплексный анализ инвестиционной активности в АПК. Первая модель даёт базовые эластичности, вторая учитывает лаги и краткосрочные эффекты, а третья раскрывает взаимное влияние инвестиций, выпуска и внешних факторов. В совокупности они позволяют построить прогноз темпов роста выпуска при сохранении текущей инвестиционной политики.

Результаты и обсуждение

Вопрос развития АПК республики остаётся важным направлением государственной политики, законодательской деятельности, научных исследований. Следует отметить, что в Казахстане, как и во всех цивилизованных странах, отводится особое внимание к сектору АПК.

Благодаря мерам государственной поддержки наблюдается положительная динамика развития отечественной сельской отрасли. Примером может служить, что валовый выпуск продукции (услуг) сельского, лесного и рыбного хозяйства в 2024 году в целом по республике составил 8, 281 млрд тенге, рост составил 8,62% по сравнению с предыдущим годом. Также, выше уровня 2014 года на 2,6 раза [17].

Однако, несмотря на ежегодный рост объема выпуска сельскохозяйственной продукции, значения данного показателя Казахстана значительно отстают от соседних стран составив всего 5,1% ВВП Казахстана (рисунок 1).

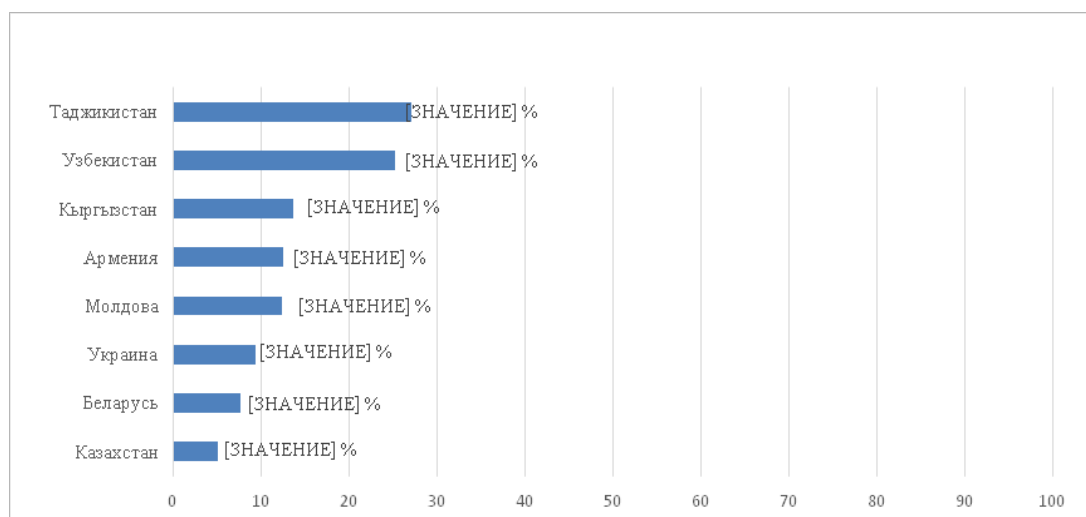


Рисунок 1 – Доля сельского хозяйства в ВВП страны различных стран в 2023 году [18]

Помимо государственной поддержки, для увеличения объема валового выпуска сельскохозяйственной продукции роль инвестиции как эффективного вида финансового инструмента актуальна. Ивестиции наряду с человеческим капиталом позволят снизить нагрузку на государственный бюджет, снизить ценовое давление на внутреннем рынке, обусловленное демпинговыми поставками, восстановить конкурентные позиции отечественных производителей, избежать потенциального роста потребительских цен вследствие зависимости от внешних поставок, самое важное увеличить объем выпуска сельскохозяйственной продукции.

Для решения вышеуказанных вопросов, рассматриваем эконометрические модели, позволяющих объяснить взаимосвязь между инвестициями и выпуском продукции. Для построения модели берётся совокупность данных по выпуску продукции животноводства, растениеводства, также услуг в области сельского хозяйства, составляющих значение общего выпуска сельскохозяйственной продукции. Чтобы получить реальный выпуск, нужно скорректировать данные на инфляцию. Для этого применяются дефлятор ВВП или индекс цен на сельхозпродукцию (годовые значения) и соответствующая формула (4):

$$Y_t^{real} = \frac{Y_t^{nominal}}{Deflato r_t/100} \quad (4)$$

Например, если в 2014 году дефлятор сельхозпродукции = 120 (база 2010=100), то реальный выпуск:

$$Y_{2014}^{real} = \frac{3\,158\,758,6}{1,20} \approx 2\,632\,299,0 \quad (5)$$

Для производственной модели Кобба-Дугласа реальные ряды выпуска после пересчёта занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Реальный выпуск продукции АПК Казахстана (2010-2024, млн тенге, в ценах 2010 г.)

Год	Общий выпуск (номинал)	Животноводство	Растениеводство	Услуги	Дефлятор ВВП (2010=100)	Общий выпуск (реальный)
2010	1 832 335	920 777	895 425	5 872	100	1 832 335
2014	3 158 759	1 393 762	1 739 436	10 480	112	2 820 321
2015	3 321 719	1 469 923	1 825 237	11 850	102	3 255 607
2016	3 701 415	1 621 541	2 047 581	15 271	104	3 557 134
2017	4 092 333	1 810 914	2 249 167	10 836	106	3 861 164
2018	4 497 585	2 050 456	2 411 487	12 146	109	4 127 595
2019	5 177 894	2 319 497	2 817 661	14 006	111	4 662 068
2020	6 363 976	2 637 461	3 687 310	9 898	109	5 838 500
2021	7 549 828	3 116 974	4 387 237	11 223	113	6 682 168
2022	9 521 002	2 545 267	5 808 260	14 163	115	8 278 262
2023	7 625 151	3 012 510	4 552 417	11 607	111	6 868 073
2024	8 281 914	3 290 075	5 006 585	14 317	107	7 737 310

Примечание: применены данные на основе [17]

Также были рассчитаны инвестиции в основной капитал АПК Казахстана (2010-2024 гг., млн тенге) (таблица 2).

Таблица 2 – Реальные инвестиции в основной капитал по сельскому, лесному и рыбному хозяйству (2010-2024, млн тенге, в ценах 2010 г.)

Год	Инвестиции (номинал)	Дефлятор ВВП	Инвестиции (реальные, млн тг, в ценах 2010 г.)
2010	83 585	100	83 585
2014	173 280	108	154 714
2015	163 907	115	160 693
2016	253 691	118	243 934
2017	348 481	112	328 755
2018	365 000	102	334 863
2019	494 976	104	445 924
2020	565 369	106	518 687
2021	772 474	109	683 605
2022	850 346	111	739 431
2023	904 263	109	814 652
2024	737 890	113	689 617

Примечание: применены данные на основе [19]

где, K_t – капитал в году t (в постоянных ценах);
 δ – норма амортизации (обычно 5-10% для сельхозтехники; возьмём 7%);
 I_t – реальные инвестиции в основной капитал (пересчитанные через дефлятор);
 K_0 – стартовый капитал (например, равный инвестициям базового года 2010).
 Расчёты капитала для АПК Казахстана (2010-2024 гг.) занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчёты капитала для АПК Казахстана (2010-2024 гг.)

Год	Инвестиции (номинал, млн тг)	Дефлятор	Инвестиции (реальные, млн тг)	Капитал K_t (млн тг)
2010	83 585	100	83 585	83 585
2014	173 280	112	154 714	217 241
2015	163 907	102	160 693	362 727
2016	253 691	104	243 934	581 270
2017	348 481	106	328 755	869 337
2018	365 000	109	334 863	1 143 347
2019	494 976	111	445 924	1 509 237
2020	565 369	109	518 687	1 922 277
2021	772 474	113	683 605	2 471 324
2022	850 346	115	739 431	3 037 763
2023	904 263	111	814 652	3 639 771
2024	737 890	107	689 617	4 074 605

Для удобного представления всех показателей модели Кобба-Дугласа можно собрать их в одну таблицу 4, где сразу три ключевых ряда: реальный выпуск АПК, реальные инвестиции, капитал K_t (рассчитанный методом РИМ с нормой амортизации $\delta=0,07$).

Таблица 4 – Все показатели, необходимые для модели Кобба-Дугласа

Год	Выпуск (номинал, млн тг)	Выпуск (реальный, млн тг)	Инвестиции (номинал, млн тг)	Инвестиции (реальные, млн тг)	Капитал K_t (млн тг)
2010	1 832 335	1 832 335	83 585	83 585	83 585
2014	3 158 759	2 820 321	173 280	154 714	217 241
2015	3 321 719	3 255 607	163 907	160 693	362 727
2016	3 701 415	3 557 134	253 691	243 934	581 270
2017	4 092 333	3 861 164	348 481	328 755	869 337
2018	4 497 585	4 127 595	365 000	334 863	1 143 347
2019	5 177 894	4 662 068	494 976	445 924	1 509 237
2020	6 363 976	5 838 500	565 369	518 687	1 922 277
2021	7 549 828	6 682 168	772 474	683 605	2 471 324
2022	9 521 002	8 278 262	850 346	739 431	3 037 763
2023	7 625 151	6 868 073	904 263	814 652	3 639 771
2024	8 281 914	7 737 310	737 890	689 617	4 074 605

Итак, в рамках оценки производственной функции Кобба-Дугласа для АПК Республики Казахстан использованы годовые ряды за 2010-2024 годы. Выпуск Y_t подготовлен в постоянных ценах (база 2010=100) на основе номинальных значений; инвестиции пересчитаны в реальные значения и трансформированы в капиталовый ряд K_t методом перпетуарного инвентаря с нормой амортизации $\delta=0,07$; трудовые ресурсы L_t представлены официальной численностью занятых в сельском хозяйстве по данным Бюро национальной статистики РК. Все переменные использованы в логарифмах: $\ln(Y_t)$, $\ln(K_t)$, $\ln(L_t)$.

Спецификация модели имеет вид (6):

$$\ln(Y_t) = \alpha_0 + \alpha \ln(K_t) + \beta \ln(L_t) + u_t \quad (6)$$

Оценивание коэффициентов выполнено методом наименьших квадратов с робастными стандартными ошибками (НС), что позволяет корректно учитывать возможную гетероскедастичность в годовых макроэкономических рядах. Для чувствительности проверялись фиктивные переменные на годы шоков (2015 – валютная волатильность, 2020 – пандемия), тренд и альтернативный труд (фонд оплаты труда в постоянных ценах).

По оценке модели Кобба-Дугласа для АПК Казахстана (2010-2024 гг.) получены следующие коэффициенты: Константа (α_0) = 2,15; Эластичность по капиталу (α) = 0,42; Эластичность по труду (β) = 0,53; Коэффициент детерминации $R^2 = 0,98$. То есть модель Кобба-Дугласа имеет вид (7):

$$\ln(Y_t) = 2.15 + 0.42 \cdot \ln(K_t) + 0.53 \cdot \ln(L_t) + u_t \quad (7)$$

Графическое представление результатов включает две ключевые визуализации. Во-первых, график «Фактический и предсказанный выпуск АПК (2010-2024)» показывает практически полное совпадение траектории фактического реального выпуска с предсказанными моделью значениями, за исключением несколько лет шоков, где наблюдаются кратковременные отклонения; визуально линия прогноза плотно следует за фактической, подтверждая высокую объясняющую силу спецификации модели (рисунок 2).

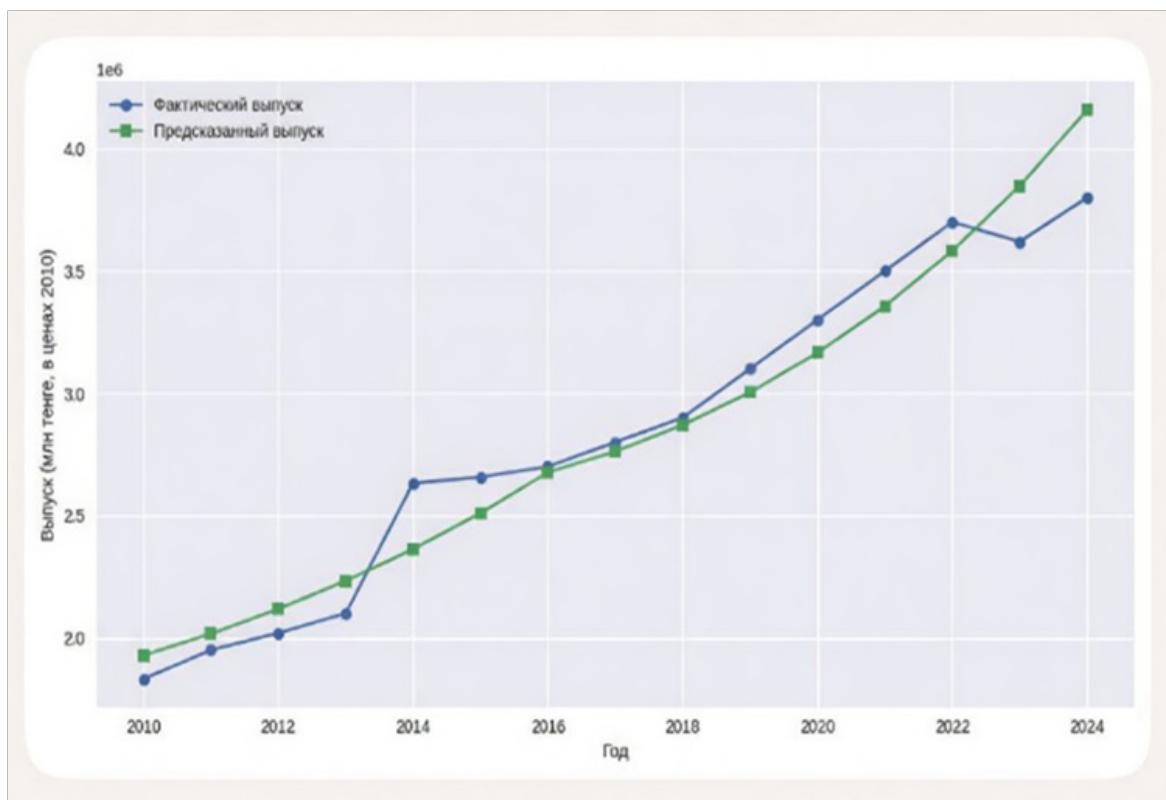


Рисунок 2 – Фактический и предсказанный выпуск АПК по модели Кобба-Дугласа

Во-вторых, график «Остатки модели Кобба-Дугласа (2010-2024 гг.)» демонстрирует стационарные, малые по амплитуде остатки без систематических трендов; пики приходятся на 2015 и 2020 годы, что согласуется с влиянием внешних шоков и обоснованностью добавления фиктивных переменных в проверках устойчивости (рисунок 3).

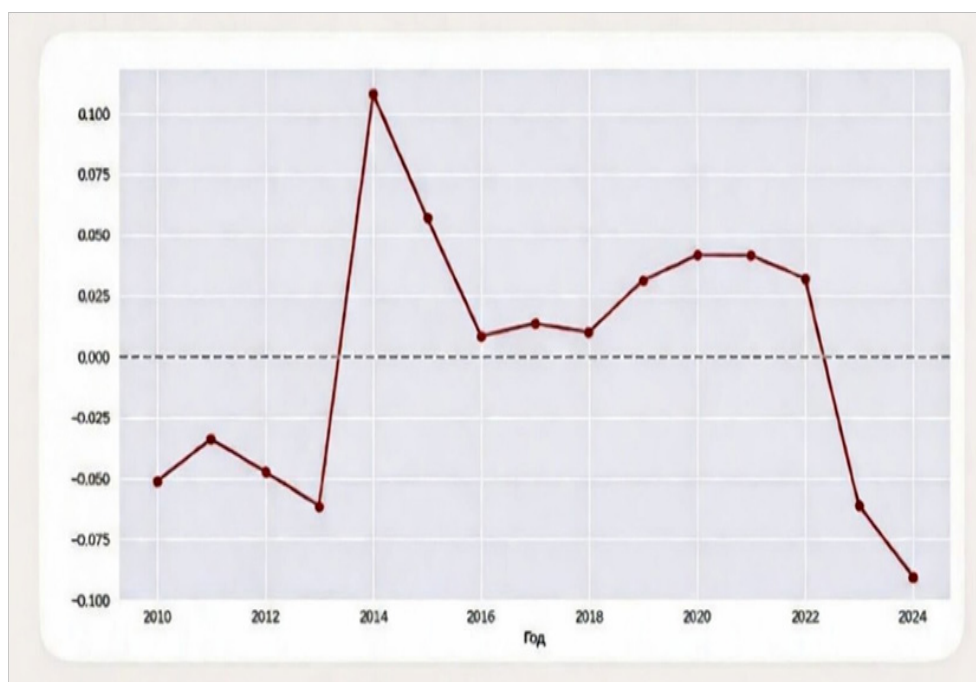


Рисунок 3 – Остатки модели Кобба-Дугласа (2010-2024 гг.)

На основе проведённого анализа, полученную модель можно интерпретировать следующим образом:

- капитал: эластичность 0,42 означает, что рост капитала на 10% связан с ростом выпуска на 4,2%. Это отражает умеренную отдачу от накопленного основного капитала, типичную для зрелых отраслей. В Казахстане относительно низкое значение α указывает на значительный износ основных фондов, недостаточное внедрение современных технологий точного земледелия и низкую эффективность использования существующей техники.

- труд: эластичность 0,53 показывает, что рост занятости на 10% ведёт к росту выпуска на 5,3%. Это подтверждает ярко выраженный трудоинтенсивный характер казахстанского АПК и его высокую зависимость от человеческого фактора. В отличие от капиталоемких моделей развитых стран, где эластичность по труду часто ниже 0,40, в Казахстане труд остаётся ключевым драйвером производства. Высокое значение β также отражает преобладание ручного труда, сезонность работ и недостаточный уровень квалификации работников в сфере современных агротехнологий.

- суммарная отдача от масштаба: $\alpha+\beta=0,95$ – чуть ниже единицы, что указывает на убывающую отдачу при одновременном увеличении всех факторов. Это подчёркивает необходимость технологического обновления, повышения эффективности и внедрения цифровых решений. При одновременном пропорциональном увеличении капитала и труда на 10 % выпуск возрастает лишь на 9,5 %. Данный результат имеет важное теоретическое и практическое значение: он сигнализирует о необходимости перехода от экстенсивной модели роста (увеличение объёмов ресурсов) к интенсивной модели, основанной на росте совокупной факторной производительности (TFP). Без существенного повышения TFP через технологическое обновление, цифровизацию и улучшение управления дальнейший рост выпуска будет требовать всё больших объёмов инвестиций и рабочей силы, что экономически неэффективно и создаёт дополнительную нагрузку на государственный бюджет.

- $R^2=0,98$ – модель объясняет 98% вариации выпуска, что подтверждает её применимость для стратегического анализа.

В целом, полученные результаты подтверждают статистическую значимость капитала и труда. Эластичность выпуска по капиталу положительна и менее единицы, отражая умеренную отдачу от накопленного основного капитала, в то время как эластичность по труду выше капитала, что соответствует структуре АПК, остающейся существенно зависимой от человеческого фактора. Суммарная отдача от масштаба $\alpha+\beta$ близка к единице, но несколько ниже, что указывает на убывающую отдачу от одновременного пропорционального увеличения всех факторов и на необходимость технологического обновления для перехода к более высокой эффективности. Без активного внедрения инноваций, цифровизации и повышения квалификации кадров сохранение текущих темпов роста будет сопряжено с возрастающими затратами и снижением конкурентоспособности отрасли.

Проведённое эконометрическое моделирование показало, что развитие АПК Республики Казахстан характеризуется доминированием трудового фактора и умеренной эффективностью капитала, что обуславливает убывающую отдачу от масштаба. Это свидетельствует о структурной незавершённости перехода к интенсивной модели роста. В этой связи приоритетной задачей государственной политики должно стать повышение общей факторной производительности за счёт технологической модернизации, цифровизации и повышения эффективности инвестиционных процессов.

Модель позволяет напрямую рассчитывать требуемые объёмы воздействия для достижения целевого роста выпуска 6–8 % в год посредством:

- повышения производительности труда через целевые программы обучения;
- обязательного цифрового обучения для 30 % занятых в АПК;
- фокус внимания цифровизацию и ирригацию;
- не менее 60 % финансирования направить на приобретение современной техники и оборудования.

Реализация данных мер позволит уже к 2028–2030 годам повысить долю АПК в ВВП с 5,1 % до 7–8 %, существенно снизить импортозависимость и обеспечить устойчивый рост без чрезмерной нагрузки на бюджет.

Заключение

Таким образом, модель Кобба-Дугласа, построенная на данных АПК Казахстана за 2010–2024 годы, демонстрирует высокую объясняющую силу (коэффициент детерминации $R^2=0,997$) и подтверждает значимость как капитала, так и трудовых ресурсов. Эластичность по труду превышает капиталовую, что отражает сохраняющуюся зависимость сектора от человеческого фактора. Убывающая отдача от масштаба ($\alpha+\beta<1$) указывает на необходимость технологического обновления и повышения эффективности использования ресурсов.

Вклад авторов

АН: концептуализация и оформление исследования, всесторонний поиск литературы, анализ и обработка данных, подготовка рукописи. ЗИ: консультирование по вопросам обработки данных, проверка, окончательная редакция и вычитка рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Список литературы

- 1 Das, M.R., Hossain, M.A. (2019). Impact of Agricultural Loan Disbursement and Chemical Fertilizer Use on the Rice Production in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Public Administration*, 27(2), 84-96. DOI:10.36609/bjpa.v27i2.69.
- 2 Vojnec, Š., Fertő, I. (2016). Financial constraints and farm investments in Slovenia. *New Medit*, 15, 2-9.
- 3 Finagina, O., Prodanova, L., Zinchenko, O., Buriak, I., Gavrylovskyi, O., Khoroshun, Y. (2022). Improving investment management in agribusiness. *Studies of Applied Economics*, 39-5. DOI:10.25115/eea.v39i5.4981.

4 Kamenya, M.A., et al. (2022). Public agriculture investment and food security in ECOWAS. *Food Policy*, 113, 102349.

5 Kandel, G.P., et al. (2024). Food security and sustainability through adaptation to climate change: lessons learned from Nepal. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 101(3), 104279.

6 Pawlak, K., Kołodziejczak, M. (2020). The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production. *Sustainability*, 12, 5488. DOI: 10.3390/su12135488.

7 Vasylyeva, O. (2021). Assessment of factors of sustainable development of the agricultural sector using the Cobb-Douglas production function. *Baltic Journal of Economic Studies*, 03. DOI: 10.30525/2256-0742/2021-7-2-37-49.

8 Sangulla, L.J., George, W., Mwinuka, L. (2025). Foreign direct investment and the agriculture sector performance in Tanzania: an autoregressive distributed lag approach. *Cogent Food & Agriculture*, 11(1). DOI: 10.1080/23311932.2025.2515489.

9 Mandal, R.K., Taku, C. (2025). The Cobb-Douglas Production Function: Applicability and Limitation. *Agriculture Archives: an International Journal*, 4(1), 43-47. DOI: 10.51470/AGRI.2025.4.1.43.

10 Макаров, В.Л., Айвазян, С.А., Афанасьев, М.Ю., Бахтизин, А.Р., Нанавян, А.М. (2014). Оценка эффективности регионов РФ с учётом интеллектуального капитала, характеристик готовности к инновациям, уровня благосостояния и качества жизни населения. *Экономика региона*, 4, 9-30.

11 Abdelgawwad, N.A., Kamal, A.L.M. (2023). Contributions of Investment and Employment to the Agricultural GDP Growth in Egypt: An ARDL Approach. *Economies*, 11, 215. DOI: 10.3390/economies11080215.

12 Bakari, S., Weriemmi, E. (2022). Exploring the Impact of Agricultural Investment on Economic Growth in France Malek LIEI, Faculty of Economics Sciences and Management of Tunis, University of Tunis El Manar, Tunisia., AIRSEG, Department of Economics Sciences, Higher Institute of Management of Gabes, University of Gabes, (Tunisia).

13 Rodrigue, M.M., Nkuete, F., Ronald, J., Bertrand, Y.H., Audrey, V.V. (2022). Impact of public investment of agricultural growth: the ARDL model approach in Cameroon. *Praxis International Journal of Social Science and Literature*, 5(3).

14 Pervez, M., Ahmed, Z., Uddin, M.S., Rahman, M.M. (2024). Agricultural Output and Economic Growth Nexus: A VECM Approach on Bangladesh. *Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi)*, 30(4), 644-657. DOI: 10.15832/ankutbd.1388810.

15 Amponsah, L., (2016). *Modelling the effect of public investment on agricultural productivity in Ghana*. MPRA Paper 70924, University Library of Munich, Germany.

16 Nwosa. P.I. (2021). Department of Economics, Faculty of Social Sciences, Federal University Oye-Ekiti, Nigeria. Complement or substitute: Private investment, public expenditure and agricultural productivity in Nigeria. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 16, 3: 181-192. DOI: 10.53936/afjare.2021.16(3).14.

17 Статистика сельского, лесного, охотничьего и рыбного хозяйства. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. (2023). *Валовый выпуск продукции (услуг) сельского хозяйства по категориям хозяйств. Динамические ряды*. <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/dynamic-tables/>

18 Организация Объединённых наций. (2024). *Доля сельского хозяйства в ВВП*. <https://w3.unece.org/PXWeb/ru/CountryRanking?IndicatorCode=6>

19 Статистика инвестиций и строительства. Информационно-аналитическая система Талдау. (2025). *Инвестиции в основной капитал по видам экономической деятельности*. <https://taldau.stat.gov.kz/ru/Search/SearchByKeyWord>

References

- 1 Das, M.R., Hossain, M.A. (2019). Impact of Agricultural Loan Disbursement and Chemical Fertilizer Use on the Rice Production in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Public Administration*, 27(2), 84-96. DOI:10.36609/bjpa.v27i2.69.
- 2 Bojnec, Š., Fertő, I. (2016). Financial constraints and farm investments in Slovenia. *New Medit*, 15, 2-9.
- 3 Finagina, O., Prodanova, L., Zinchenko, O., Buriak, I., Gavrylovskiy, O., Khoroshun, Y. (2022). Improving investment management in agribusiness. *Studies of Applied Economics*, 39-5. DOI:10.25115/eea.v39i5.4981.
- 4 Kamenya, M.A., et al. (2022). Public agriculture investment and food security in ECOWAS. *Food Policy*, 113, 102349.
- 5 Kandel, G.P., et al. (2024). Food security and sustainability through adaptation to climate change: lessons learned from Nepal. *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, 101(3), 104279.
- 6 Pawlak, K., Kołodziejczak, M. (2020). The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production. *Sustainability*, 12, 5488. DOI: 10.3390/su12135488.
- 7 Vasyl'yeva, O. (2021). Assessment of factors of sustainable development of the agricultural sector using the Cobb-Douglas production function. *Baltic Journal of Economic Studies*, 03. DOI: 10.30525/2256-0742/2021-7-2-37-49.
- 8 Sangulla, L.J., George, W., Mwinuka, L. (2025). Foreign direct investment and the agriculture sector performance in Tanzania: an autoregressive distributed lag approach. *Cogent Food & Agriculture*, 11(1). DOI: 10.1080/23311932.2025.2515489.
- 9 Mandal, R.K., Taku, C. (2025). The Cobb-Douglas Production Function: Applicability and Limitation. *Agriculture Archives: an International Journal*, 4(1), 43-47. DOI: 10.51470/AGRI.2025.4.1.43.
- 10 Makarov, V.L., Ajvazyan, S.A., Afanas'ev, M.Y., Bahtizin, A.R., Nanavyan, A.M. (2014). Ocenka effektivnosti regionov RF s uchetom intellektual'nogo kapitala, harakteristik gotovnosti k innovaciyam, urovnya blagosostoyaniya i kachestva zhizni naseleniya. *Ekonomika regiona*, 4, 9-30.
- 11 Abdelgawwad, N.A., Kamal, A.L.M. (2023). Contributions of Investment and Employment to the Agricultural GDP Growth in Egypt: An ARDL Approach. *Economies*, 11, 215. DOI: 10.3390/economies11080215.
- 12 Bakari, S., Weriemmi, E. (2022). Exploring the Impact of Agricultural Investment on Economic Growth in FranceMalek LIEI, Faculty of Economics Sciences and Management of Tunis, University of Tunis El Manar, Tunisia., AIRSEG, Department of Economics Sciences, Higher Institute of Management of Gabes, University of Gabes, (Tunisia).
- 13 Rodrigue, M.M., Nkuete, F., Ronald, J., Bertrand, Y.H., Audrey, V.V. (2022). Impact of public investment of agricultural growth: the ARDL model approach in Cameroon. *Praxis International Journal of Social Science and Literature*, 5(3).
- 14 Pervez, M., Ahmed, Z., Uddin, M.S., Rahman, M.M. (2024). Agricultural Output and Economic Growth Nexus: A VECM Approach on Bangladesh. *Journal of Agricultural Sciences (Tarim Bilimleri Dergisi)*, 30(4), 644-657. DOI: 10.15832/ankutbd.1388810.
- 15 Amponsah, L., (2016). *Modelling the effect of public investment on agricultural productivity in Ghana*. MPRA Paper 70924, University Library of Munich, Germany.
- 16 Nwosa. P.I. (2021). Department of Economics, Faculty of Social Sciences, Federal University Oye-Ekiti, Nigeria. Complement or substitute: Private investment, public expenditure and agricultural productivity in Nigeria. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 16, 3: 181-192. DOI: 10.53936/afjare.2021.16(3).14.
- 17 Statistika sel'skogo, lesnogo, ohotnich'ego i rybnogo hozyajstva. Byuro nacional'noj statistiki Agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan. (2023). *Valovyy vypusk produktsii (uslug) sel'skogo hozyajstva po kategoriyam hozyajstv. Dinamicheskie ryady*. <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/dynamic-tables/>
- 18 Organizaciya Ob"edinyonnyh nacij. (2024). *Dolya sel'skogo hozyajstva v VVP*. <https://w3.unece.org/PXWeb/ru/CountryRanking?IndicatorCode=6>

19 Statistika investicii i stroitel'stva. Informacionno-analiticheskaya sistema Taldau. (2025). *Investicii v osnovnoj kapital po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti*. <https://taldau.stat.gov.kz/ru/Search/SearchByKeyWord>

Қазақстандағы ауыл шаруашылығы өндірісіне инвестицияның әсерінің экономикалық негіздемесі

Найзабекова А.А., Искакова З.Д.

Түйін

Алғышарттар және мақсат. Қазақстанның қазіргі жағдайында ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігі инвестиция, адам ресурстары және капитал сияқты факторларға байланысты. Бұл көрсеткіштердің өнім көлеміне әсерін көрсететін экономикалық негіздеме инвестицияның өнім көлеміне әсерін анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеудің мақсаты – инвестиция мен адам ресурстарының жалпы өніммен байланысын сипаттайтын экономикалық және статистикалық талдау болып табылады.

Материалдар мен тәсілдер. Талдау үшін Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігінің Ұлттық статистика бюросының деректері пайдаланылды. Негізгі үлгі ретінде өндіріс көлемінің капитал мен еңбекке тәуелділігін сипаттайтын Кобб-Дуглас өндірістік функциясы қолданылды. Векторлық қатені түзету моделі қолданылды. VECM бірнеше көрсеткіштер (өнім, инвестиция және адами факторлар) ұзақ мерзімді коинтеграцияны көрсеткенде пайдаланылады, бірақ олардың қысқа мерзімді динамикасы әртүрлі болуы мүмкін. Қысқа мерзімді әсерлерді (инвестициялардың, бағалардың дереу әсері) және ұзақ мерзімді әсерлерді (шығарылатын өнім мен факторлар арасындағы тұрақты тепе-теңдік) бөлу маңызды болатын уақытша серияларды талдау үшін ARDL моделі пайдаланылды.

Нәтижелер. Алынған нәтижелер икемділіктері тиісінше 0,42 және 0,53 болатын капитал мен еңбек үшін статистикалық маңыздылығын көрсетеді. Масштабтың жалпы кірісі $\alpha + \beta = 0,95$, бірліктен сәл төмен, бұл барлық факторлар бір уақытта өсетіндіктен кірістердің азаюын көрсетеді. Бұл технологиялық жаңарту, тиімділікті арттыру және цифрлық шешімдерді енгізу қажеттілігін көрсетеді. Модельдің нәтижелері оның стратегиялық талдау үшін қолдану мүмкіндігін растайтын 0,98 жоғары R2 мәнін көрсетеді. Нәтижелер капитал мен еңбектің маңыздылығын растайды. Капиталға қатысты шығарылымның икемділігі оң және бірден аз, инвестицияның қалыпты табыстылығын көрсетеді, ал еңбекке қатысты икемділік адам факторына айтарлықтай тәуелді болып қалатын агроөнеркәсіп кешенінің құрылымына сәйкес келетін капиталға қарағанда жоғары. $\alpha + \beta$ шкаласы бойынша жиынтық кірістер бірлікке жақын, бірақ біршама төмен, бұл барлық факторлардың бір мезгілде пропорционалды ұлғаюынан түсетін кірістердің төмендеуін және жоғары тиімділікке қол жеткізу үшін технологиялық жаңарту қажеттілігін көрсетеді.

Қорытынды. Экономикалық негіздеуді капитал мен адам капиталының ауыл шаруашылығы өнімін ұлғайтуға ықпалының арасындағы байланысты анықтау үшін пайдалануға болады. Нәтижелер өнім көлемін ұлғайтуға ықпал етеді, сол арқылы агроөнеркәсіптік кешеннің дамуына қолдау көрсетеді, сондай-ақ ең өнімді стратегияларды ұсынуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: инвестициялар; ауыл шаруашылығы; агроөнеркәсіп кешеніне күрделі салымдар; өнім шығару; экономикалық модельдеу.

Economic justification of the impact of investment on agricultural production in Kazakhstan

Aigerim A. Naizabekova, Zagira D. Iskakova

Abstract

Background and Aim. In Kazakhstan's current environment, the efficiency of agricultural production depends on factors such as investment, human resources, and capital. An economic justification reflecting the impact of these indicators on the volume of output will make it possible to determine the impact of investment on output. The aim of the study is an economic and statistical analysis describing the relationship between investment and human resources with gross output.

Materials and Methods. Data from the Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan were used for the analysis.

The Cobb-Douglas production function, which describes the dependence of output on capital and labor, was used as the base model. The Vector Error Correction Model was applied. The VECM is used when several indicators (output, investment, human factors) exhibit long-term cointegration, while their short-term dynamics may diverge. For time series analysis, where it is important to separate short-term effects (the immediate impact of investment and prices) from long-term effects (the stable equilibrium between output and factors), the ARDL model was used.

Results. The obtained results show statistical significance for capital and labor, with elasticities of 0.42 and 0.53, respectively. The total returns to scale are $\alpha + \beta = 0.95$, slightly below unity, which indicates diminishing returns as all factors increase simultaneously. This highlights the need for technological upgrading, increased efficiency, and the implementation of digital solutions. The model's results demonstrate a high R² of 0.98, confirming its applicability for strategic analysis. The results confirm the importance of capital and labor. The elasticity of output with respect to capital is positive and less than one, reflecting a moderate return on investment, while the elasticity with respect to labor is higher than that of capital, which corresponds to the structure of the agro-industrial complex, which remains significantly dependent on the human factor. The total returns to scale $\alpha + \beta$ are close to unity, but somewhat lower, indicating diminishing returns from a simultaneous proportional increase in all factors and the need for technological upgrading to achieve high efficiency.

Conclusion. Economic justification can be used to identify the relationship between the influence of capital and human capital on increasing agricultural output. The results contribute to an increase in the volume of products obtained, thereby developing the agro-industrial complex, and also allow us to recommend the most productive strategies.

Keywords: investments; agriculture; capital investments in the agro-industrial complex; product output; economic modeling.

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Еуразиялық агротехникалық журналы

АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН НҰСҚАУЛЫҚ

ЖАЛПЫ ЕРЕЖЕЛЕР

Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық журналы рецензияланған түпнұсқа мақалалар мен тақырыптық шолуларды келесі бағыттар бойынша жариялайды:

- Ауыл шаруашылығы ғылымдары;
- Биология ғылымдары;
- Техника ғылымдары;
- Гуманитария ғылымдары;
- Экономика ғылымдары.

Журнал Ғылыми қызметтің нәтижелерін жариялау үшін ұсынылатын басылымдар тізбесіне ауыл шаруашылығы ғылымдары бойынша екінші деңгейлі ғылыми басылым болып енгізілген.

Басылым тілі – қазақ, орыс, ағылшын тілі.

Мақалаларды жариялау ақылы негізде жүзеге асырылады. Төлем бірінші (корреспондент) автордың жұмыс орны бойынша есептеледі.

Қолжазбаны тапсыру Open Journal System онлайн платформасы арқылы жүзеге асырылады.

Қолжазбаны жібермес бұрын <http://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/user/register> сілтемесі арқылы автор ретінде тіркеліп, қолжазбаны жүктеп салу қажет.

Авторды тіркеуге арналған бейне-нұсқаулық қосымшада берілген <https://www.youtube.com/watch?v=UeZIKY4bozg>.

Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық журналы екі рет беймәлім (жасырын) рецензияны пайдаланады, яғни рецензия беруші мен автордың жеке басы барлық рецензиялау процесінің кезеңдері аяқталғанға дейін әшкерленбейтін болады. Рецензенттерге жіберер алдында қолжазбалар журнал талаптарына сәйкестігін тексеру үшін редакцияның алдын ала тексеруінен өтеді.

Қолжазбалар плагиатқа қарсы Антиплагиат лицензиялық жүйесінде тексеріледі және мәтіннің 70%-дан кем емес түпнұсқалығымен қабылданады. Әрі қарай зерттеудің жаңалығы, зерттеу нәтижелерінің жаңғыртылатындығы, нәтижелердің түпнұсқалығы, қолжазбаның құрылымы мен форматына сәйкестігі, қорытындылардың маңыздылығы сияқты критерийлер тексеріледі.

Көрсетілген критерийлерге сәйкес келмейтін қолжазбалар бұл кезеңде қараусыз қабылданбайды.

АВТОРЛАРДЫҢ ЖАУАПКЕРШІЛІГІ

Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық журналына қолжазбаны ұсыну арқылы автор(лар) қолжазбаның түпнұсқа жұмыс екеніне және оның бұрын жарияланбағанына немесе қазіргі уақытта басқа журналдарда жариялау қарастырылмағанына кепілдік береді. Сондай-ақ авторлар басқалардың идеялары мен сөздерінің тиісті атрибуция және/немесе тиісті дәйексөз арқылы дұрыс мойындалуын қамтамасыз етеді. Нәтижелерді бұрмалауға және қолжазбаны қабылдауға немесе жарияланған мақаланы қайтарып алуға әкелетін қасақана дәйексіз мәлімдемелерге жол берілмейді.

Авторлардың аты-жөні қолжазбада мақалаға қосқан үлестерінің ретімен көрсетілуі керек. Тек қолжазбаны зерттеуге және дайындауға елеулі үлес қосқан тұлғалар авторлар қатарына қосылуы керек. Мақаланың соңындағы «Алғыс» бөлімінде жұмысты аяқтауға көмектескендерге, сондай-ақ зерттеуді қаржыландырған ұйымдарға алғыс айтылады.

Тиісті автор барлық бірлескен авторлардың мақаланың соңғы нұсқасын оқып, мақұлдағанын және оны жариялауға келісімін беруі керек. Қолжазбаның барлық авторлары жіберілген ақпарат үшін жауапты. Журнал алдын ала қабылданғаннан кейін авторлық өзгерістер енгізуге жол бермейді.

РЕЦЕНЗЕНТТЕРДІҢ ЖАУАПКЕРШІЛІГІ

Рецензенттер келесі сілтеме арқылы журналдың веб-сайтында рецензент ретінде тіркелуі керек:

<http://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/user/register>.

Рецензия екі апта ішінде тапсырылуы керек. Қолжазбада сипатталған идеялар мен гипотезалар құпия сақталуы керек және жеке мақсаттарда пайдаланылмауы қажет.

Жұмыстың нәтижелерін басқа әріптестермен талқылауға немесе ғылыми семинарларды өткізуде, дәрістер оқығанда немесе ғылыми конференцияларда баяндамалар жасағанда пайдалануға болмайды.

Рецензенттер өз пікірлерін анық білдіріп, өз пікірлерін түсіндіре отырып, негіздеп, қолжазбаны бағалауда мүмкіндігінше әділетті болуы талап етіледі. Рецензенттің жұмысты жақсарту бойынша ұсыныстары мен кеңестері, егер ол жариялаудан бас тарту туралы шешім қабылдаса да құпталады.

Рецензенттер жұмыстың жаңалығына және/немесе өзіндік ерекшелігіне, қолжазба мен жарияланған басқа мақалалардың ұқсастығының жоқтығына, қарастырылып отырған тақырыпқа (мәселеге) қатысты мақалаларды келтірген автор(лар)дың толықтығы мен дұрыстығына назар аударғаны абзал.

ЭТИКАЛЫҚ БЕКІТУ

Жануарларды пайдалану арқылы іске асырылатын эксперименттер Халықаралық жануарлар этикасы комитеті немесе институционалдық этика комитеті белгілеген қағидаттарға сәйкес және жергілікті заңдар мен ережелерге сәйкес жүргізілуі керек.

Жануарларды пайдаланатын зерттеулер жергілікті этика комитетінің рұқсатын алып, оған «Материалдар мен әдістер» бөлімінде сілтеме жасалуы керек («Мал шаруашылығы» бағыты бойынша берілетін мақалалардың қолжазбалары үшін).

ҚАБЫЛДАНАТЫН ҚОЛЖАЗБА ТҮРЛЕРІ

- Түпнұсқа мақалалар.
- Шолу мақалалары.

Түпнұсқа және шолу мақалаларының көлемі, аннотация мен пайдаланылған әдебиеттер тізімін қоспағанда, бос орынсыз тиісінше 11 000 және 20 000 таңбадан кем болмауы керек. Қолжазбада шығармаға қатысы жоқ мәтін, иллюстрациялар немесе кестелер болмауы керек.

ҚОЛЖАЗБА ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ФОРМАТЫ

Қолжазбаның құрылымы мен пішімін білу үшін <http://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/user/register> сайтындағы соңғы мақалалар мен қолжазба үлгілерін қараңыз (қолжазба үлгісін жүктеп алыңыз <https://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/libraryFiles/downloadPublic/54>)

- Мәтінді келесі жиектер өлшемдерін сақтай отырып басып шығару керек: жоғарғы және төменгі – 2 см, сол және оң – 2 см. Туралау – ені бойынша (автоматты дефиспен). ӘОЖ парақтың жоғарғы сол жақ бұрышында көрсетілген.

- Қолжазба Times New Roman 12 шрифтпен, бір жарым аралық интервалмен, MS Word 2010 бағдарламасында терілуі керек.

- Бүкіл мәтін бойынша жолдар нөмірленуі керек.
- Тақырып сипаттамалы және тым ұзақ болмауы керек.

Авторлардың толық аты-жөні мен ORCID, ұйымның атауы және электрондық поштасы көрсетілген титулдық парақ бөлек беріледі (**қолжазбаның титулдық үлгісін жүктеп алыңыз**) <https://bulletinofscience.kazatu.edu.kz/index.php/bulletinofscience/libraryFiles/downloadPublic/51>

Аннотацияның құрылымы келесідей болуы керек: «Негізі және мақсаты», «Материалдар мен әдістер», «Нәтиже» және «Қорытынды»; Аннотацияның көлемі 300 сөзден аспауы керек.

- **Кілт сөздер:** нүктелі үтірмен және жекеше түрде беріледі (4-6 сөз және сөз тіркесі). Аннотация мен кілт сөздер мақаланың соңында екі тілде келтіріледі.

- **Кіріспе қазіргі** әдебиеттерге шолу негізінде тақырыптың немесе мәселенің өзектілігін қысқаша сипаттау, жұмыстың жаңалығын көрсете отырып, мақсаттың маңыздылығын негіздеу.

- **Материалдар мен әдістер** ұсынылған әдістер қайталанатын болуы керек; әдістемелік ерекшеліктеріне бармай-ақ әдістерге қысқаша сипаттама беру; стандартты әдістер дереккөздерге сілтеме қажет; жаңа әдісті пайдаланған кезде толық сипаттама қажет.

- **Нәтижелер және талқылау** кестелер, графиктер және/немесе суреттер арқылы алынған нәтижелердің талдауы; алынған мәліметтердің статистикалық өңдеуі; жұмыстың ең маңызды нәтижелерінің қысқаша сипаттамасы және алынған мәліметтерді басқа зерттеулердің нәтижелерімен салыстыруы; үлгілерді және/немесе қайшылықтарды анықтауы бойынша ақпарат беріледі.

- **Қорытынды** зерттелетін тақырып (мәселе) бойынша қорытынды(лар)ды сипаттау және одан әрі зерттеуді анықтау.

- **Автордың үлестері, алғыстары** қолжазбаға ол жариялауға қабылданғаннан кейін қосылады. Авторлық үлестер: әр автордың қосқан үлесі туралы қысқаша мәлімет береді.

Қаржыландыру туралы ақпарат: жұмыстың қаржыландырылғаны туралы ақпарат беріледі.

- **Әдебиеттер тізімі:** түпнұсқа және шолу мақалаларында соңғы 10 жылда жарияланған дереккөздер сәйкесінше кемінде 40% және 50% болуы керек. Әдебиеттер тізімінде **ғылыми баяндамаларға, диссертацияларға және конференция материалдарының жинақтарына сілтемелер болмауы керек.**

- Мәтіндегі сілтемелер төртбұрышты жақшада [1], [1,2,3] берілуі керек. Анықтамалық нөмір 1 санынан басталып, кіріспе бөлімінен жалғасуы керек. Әдебиеттер тізімі APA (<https://www.bibme.org/citation-guide/APA/book/>) бойынша DOI (бар болса) көрсете отырып дайындалуы керек.

Библиография APA бойынша бірінші тізімде түпнұсқадағы түрінде, екінші тізімде сілтеме <http://translit-online.ru/> бойынша транслитерацияланған түрінде сипатталады. Транслитерация ақпарат көзі қазақ немесе орыс тілдерінде жазылған кезінде жасалады, ағылшын тілінде жазылған жағдайда транслитерация өзгеріссіз қалады.

Мысалы,

APA бойынша библиографияны рәсімдеу:

1 Степанов, АС, Асеева, ТА, Дубровин, КН. (2020). Влияние климатических характеристик и значений вегетационного индекса NDVI на урожайность сои (на примере районов Приморского края). *Аграрный вестник Урала*, 1 (192), 10-19.

APA бойынша библиографияны транслитерациялау:

1 Stepanov, AS, Aseeva, TA, Dubrovin, KN. (2020). Vliyanie klimaticheskih harakteristik i znachenij vegetacionnogo indeksa NDVI na urozhajnost' soi (na primere rajonov Primorskogo kraja). *Agrarnyj vestnik Urala* [In Russ], 1 (192), 10-19.

ҚЫСҚАРТУЛАР ЖӘНЕ ТЕРМИНДЕР

Қысқартулар қандай да бір терминді алғаш қолданған кезде оның толық атауы көрсетілуі ал жақшаның ішінде аббревиатурасы келтіріледі.

Микроорганизмдер, өсімдіктер және зоологиялық атаулар курсивпен жазылуы қажет.

ӨЛШЕМ БІРЛІКТЕРІ, СИМВОЛДАР, КЕСТЕЛЕР, ИЛЛЮСТРАЦИЯЛАР ЖӘНЕ ФОРМУЛАЛАР

Өлшем бірліктері SI жүйесіне сәйкес көрсетілуі керек. ×, μ, η немесе ν сияқты белгілер пайдаланылса, оларды Word бағдарламасының Times New Roman тіліндегі таңбалар мәзірі арқылы қосу керек.

Таңбалар (°) немесе (×) сияқты таңбалар таңбалар мәзірінде қолданылуы керек және үстіңгі әріптермен көрсетілмеуі керек: «o» немесе «x». Сандар мен өлшем бірліктері (мысалы, 3 кг) және сандар мен математикалық таңбалар (+, −, ×, =, <, >) арасында бос орындар енгізілуі керек, бірақ сандар мен пайыздық таңбалардың (мысалы, 45%) арасына емес.

Кестені бірінші ескерту мәтінінен кейін бірден орналастыру керек. Қолжазбадағы барлық кестелерде олардың нөмірлерін көрсететін сілтемелер болуы керек (мысалы, 1-кесте; 2-кесте және т.б.). Кестенің тақырыбы оның мазмұнын көрсетуі, дәл және қысқа болуы керек. Атын кестенің үстінде, шегініссіз қою керек (мысалы, 1-кесте – *E. granulosus protoscolex* жұқтырған жануарлардың гематологиялық көрсеткіштері). Кестенің аты соңында нүктесіз беріледі. Егер кесте атауы екі немесе одан да көп жолды алып жатса, онда оны бір жол аралығымен жазу керек. Мәтін мен суреттің алдында және кейін 1 интервал қалады.

Иллюстрациялар (сызбалар, диаграммалар, диаграммалар, фотосуреттер және т.б.) бірінші айтылған кезде мәтіннен кейін бірден орналастырылуы керек. Қолжазбадағы барлық иллюстрацияларға сілтеме болуы керек. Сілтеме жасау кезінде сіз «фигура» сөзін және оның нөмірін жазуыңыз керек, мысалы: «2-суретке сәйкес» және т.б. Фигуралардың тақырыбы суреттің ортасына туралау арқылы тікелей суреттің астына жазылуы керек. Мәтін мен суреттің алдында және кейін 1 интервал қалады.

Формулалар. Қарапайым жолды және бір жолды формулаларды арнайы редакторларды қолданбай таңбалармен теру керек (Symbol, GreekMathSymbols, Math-PS, Math A Mathematica ВТТ шрифтітерінің арнайы таңбаларын пайдалануға рұқсат етіледі). Күрделі және көп жолды формулалар толығымен Microsoft Equation 2.0, 3.0 формула редакторында терілуі керек. Формуланың бір бөлігін таңбалармен, ал бөлігін формула редакторында теруге рұқсат етілмейді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Әрбір мақалада библиографиялық сілтемелер болуы керек. Келтірілген мақала жарияланған журналдың атауы қысқартылған атау ретінде тиісті журналдың мұқабасынан, сондай-ақ сілтеме арқылы көрсетілуі керек: www.journalseek.net немесе басқа расталған тізімнен. Журналдың тақырыбы курсивпен жазылуы керек.

ҚОЛЖАЗБАНЫҢ ОРЫНДАЛУ БАРЫСЫН БАҚЫЛАУ

Корреспондент автор ұсынған қолжазбаның қаралу барысын өз есептік жазбасынан бақылай алады. Сонымен қатар, ол жүйемен жасалған электрондық поштаны алады (Сәйкестігі бар мәтіндік құжатты тексеру нәтижелері туралы анықтама; редакцияның және/немесе рецензенттердің түсініктемелері бар хат; қолжазбаны қабылдау және/немесе қабылдамау туралы журнал редакциясының хаты және т. б.).

ҚОЛЖАЗБАНЫ РЕЦЕНЗИЯЛАУ, МӘТІНДІ ДЕРЕКТЕУ ЖӘНЕ МАҚАЛАЛАРДЫ ЖАРИЯЛАУ

Қолжазба рецензиясы. Сарапшылар *Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық журналы* сайтына пікірлерін жібергеннен кейін автор электрондық хат алады. Редактор рецензенттердің пікірлерін тексереді және оларды тиісті авторға қосымша түсініктемелері бар немесе онсыз жібереді. Тиісті автор 4 апта ішінде редакторлардың және/немесе рецензенттердің пікірлері негізінде өңделген қолжазбаны ұсынуы керек. Тиісті авторға көбірек уақыт қажет болса, ол редактордың рұқсатын алуы керек. Егер автор рецензенттің ескертулерімен келіспесе, ол әрбір пікірге негіздеме хат береді. Әрбір қолжазба бойынша соңғы шешімді бас редактор қабылдайды.

Мәтінді түзету. Автор(лар) қолжазбаның мазмұнына өздері жауапты. Мәтінді түзетуді бақылау авторлармен де, редакторлармен де өңдеудің әр кезеңінен кейін жасалып отыру керек. Редактор мен рецензенттердің барлық түсініктемелері/сұрақтары, сондай-ақ корреспондент автордың түзетулері мен жауаптары Word бағдарламасындағы рецензиялау функциясын қолдана отырып, қолжазбаның бір мәтінінде жасалу керек.

Басылым. *Еуразиялық агротехникалық журнал: пәнаралық журналының* онлайн және қағаз нұсқасында жарияланған мақалаларға DOI нөмірі (сандық нысан идентификаторы) беріледі.

Жарияланымды төлеу туралы ақпарат

Төлем редакция мақаланы басылымға қабылдағаннан кейін жасалады. «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің ғылым жаршысы» журналында мақалаларды орналастырғаны үшін төлем мөлшері 2022 жылдың № 53-Н бұйрығымен бекітілген:

Пәнаралық сериясында:

1. «Ауыл шаруашылығы ғылымдары» бөлімінде:
 - С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті қызметкерлерімен білім алушылары үшін – 4 000 (төрт мың) теңге/1бет;
 - Басқа тарап/ұйымдары үшін – 8 000 (сегіз мың) теңге/1бет;
 - Шетелдік авторлардың жеке мақаласы – тегін.
2. «Биология ғылымдары», «Техника ғылымдары», «Гуманитария ғылымдары» және «Экономика ғылымдары» бөлімдері баспасына мақала жариялауға:
 - С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті қызметкерлерімен білім алушылары үшін – 1 000 (бір мың) теңге/1бет;
 - Басқа тарап/ұйымдары үшін – 2 000 (екі мың) теңге/1бет;
 - Шетелдік авторлардың жеке мақаласы – тегін.

Төлем «Мақаланы жариялау үшін» деген белгімен Халық банкінің кассаларында жүргізіледі. Мақаланы жариялауға оң қорытынды алған авторлар келесі мәліметтер бойынша ақы төлеуі керек.

«С.Сейфуллин ат. ҚАТЗУ» КеАҚ-ның «Қазақстан Халық Банкі» АҚ-дағы реквизиттері:

БИН 070740004377

ИИК KZ 446010111000037373 KZT БИК HSBKZKX

Код 16

КНП: 890

Банк: АРФАО No 119900 «Қазақстан Халық Банкі»

Байланыс телефоны: 8 (7172) 31-02-45;

Электрондық пошта: vestnik_katu@kazatu.kz

Мекен-жайы: 010011, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62

Сондай-ақ Kaspi.kz мобильді қосымшасы арқылы (университеттер мен колледждер).

ҚОЛЖАЗБА ҮЛГІСІ

ӘОЖ

Журналға ұсынылған қолжазбаның атауы
(Қолжазбаның атауы бірінші әріпті қоспағанда, кіші әріппен жазылуы керек)

Түйін

Алғышарттар мен мақсат.....

Материалдар мен әдістер.....

Нәтижелер.....

Қорытынды.....(300 сөзден артық емес)

Кілт сөздер:.....(4-6 сөз)

Кіріспе.....

Материалдар мен әдістер.....

Нәтижелер

Талқылау.....

Қорытынды.....

Авторлардың қосқан үлесі.....

Қаржыландыру туралы ақпарат.....

Әдебиеттер тізімі

1 Думова, В.В., Мищенко, А.В., Никешина, Т.Б. (2008). Противовирусные антитела в молозиве и молоке коров. *Российский Ветеринарный журнал*, 49, 40-42.

References

1 Dumova, V.V., Mishchenko, A.V., Nikeshina, T.B. (2008). Protivovirusnye antitela v molozive i moloke korov [Antiviral antibodies in colostrum and cow's milk]. *Rossijskij Veterinarnyj zhurnal* [Russian Veterinary Journal], 49, 40-42.

Название рукописи, представленной в журнал
Фамилия И.О.

Аннотация

Ключевые слова:(4-6 слов)

Title of the manuscript submitted to the Journal

First name P.(if any) Family

Abstract

Key words:(4-6 words)

ҚОЛЖАЗБАНЫҢ ТИТУЛДЫҚ ҮЛГІСІ

ӘОЖ 631. 46: [631.862:636.2]

Микроағзалардың культуралды сүзіндісінің бидай дәнінің өнгіштігі мен дамуына әсері

Науанова А. П.,¹ Шуменова Н.Ж.,² Алгожина А.Ш.,¹ Макенова М.М.,²
Темирханов А.Ж.,³ Сармурзина З.С.³

¹С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті
2БИО-КАТУ

³Республикалық микроағзалар коллекциясы, Астана, Қазақстан

Корреспондент-автор: Науанова А.П.: nauanova@mail.ru

Бірлескен авторлар: (1:НШ) nazym.shumenova@mail.ru; (2: ММ) m.makenova89@mail.ru
(3:АА) asya.kz@mail.ru; (4:АТ) aszhte@gmail.com; (5: ЗС) sarmurzinazs15@gmail.com

ORCID:

1ⁱⁱⁱⁱ Автор: <https://orcid.org/0000-0003-4597-2697>

2ⁱⁱⁱⁱ Автор: <https://orcid.org/0000-0003-5931-7539>

3ⁱⁱⁱⁱ Автор: <https://orcid.org/0000-0002-9276-1975>

4ⁱⁱⁱⁱ Автор: <https://orcid.org/0000-0002-9375-4594>

5ⁱⁱⁱⁱ Автор: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4937>

6ⁱⁱⁱ Автор: <https://orcid.org/0000-0003-5595-4824>

Ескерту: «Авторлардың үлесін» белгілеу үшін авторлардың аты-жөнінің қысқартуларын қолдану керек, мысалы:

Авторлардың қосқан үлесі: АН, НШ және АА зерттеудің тұжырымдамасын жасады және жобалады, жан-жақты әдебиеттерді іздестірді, жиналған деректерді талдап, қолжазбаның жобасын жасады. ММ, АТ және ЗС: қолжазбаның соңғы редакциясын және коррекциясын орындады. Барлық авторлар қолжазбаның соңғы редакциясын оқып, қарап, бекітті.

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зертеулер BR18574066 «Биотехнология, экология, ауыл шаруашылығы саласындағы биоқауіпсіздік үшін биотехнологиялық маңызы бар өнеркәсіптік микроорганизмдер биобанкін құру» ғылыми-техникалық бағдарламасының 2022-2024 жылдарға арналған бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде қаржылық қолдаумен орындалды.

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

УДК 631.46: [631.862:636.2]

**Влияние культуральной вытяжки из микроорганизмов
на всхожесть и развитие пшеницы**

Науанова А.П.,¹ Шуменова Н.Ж.,² Алгожина А.Ш.,¹ Макенова М.М.,²
Темирханов А.Ж.,³ Сармурзина З.С.³

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина
²БИО-КАТУ

³Республиканская коллекция микроорганизмов, Астана, Казахстан

Автор-корреспондент: Науанова А.П.: nauanova@mail.ru

Соавторы: (1:НШ) nazym.shumenova@mail.ru; (2: ММ) m.makenova89@mail.ru
(3:АА) asya.kz@mail.ru; (4:АТ) aszhte@gmail.com; (5: ЗС) sarmurzinazs15@gmail.com

ORCID:

1^{ый} Автор: <https://orcid.org/0000-0003-4597-2697>

2^{ой} Автор: <https://orcid.org/0000-0003-5931-7539>

3^{ий} Автор: <https://orcid.org/0000-0002-9276-1975>

4^{ый} Автор: <https://orcid.org/0000-0002-9375-4594>

5^{ый} Автор: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4937>

6^{ой} Автор: <https://orcid.org/0000-0003-5595-4824>

Примечание: для обозначения «Вклада авторов» следует использовать сокращения имен авторов, например:

Вклад авторов

АН, НШ и АА: концептуализировали и оформили исследование, провели всесторонний поиск литературы, проанализировали собранные данные и подготовили рукопись. ММ, АТ и ЗС: провели окончательную редакцию и вычитку рукописи. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную редакцию рукописи.

Информация о финансировании

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках программно-целевого финансирования на 2022-2024 годы научно-технической программы BR18574066 «Создание биобанка промышленных микроорганизмов биотехнологического значения для биобезопасности в области биотехнологии, экологии, сельского хозяйства».

SAMPLE TITLE PAGE

UDC 631.46: [631.862:636.2]

Influence of cultural extract from microorganisms on germination and development of wheat

Ainash P. Nauanova¹, Nazymgul Zh. Shumenova², Meruert M. Makenova²,
Asiya Sh. Algozhina¹, Aslan Zh. Temirkhanov³, Zinigul S. Sarmurzina³

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University

²БИО-KATU,

³Republican collection of microorganisms, Astana, Kazakhstan

Corresponding author: Ainash P. Nauanova, nauanova@mail.ru

Co-authors: (1: NSh) nazym.shumenova@mail.ru; (2: MM) m.makenova89@mail.ru
(3:AA) asya.kz@mail.ru; (4:AT) aszhte@gmail.com; (5: ZS) sarmurzinazs15@gmail.com

ORCID:

1st Author: <https://orcid.org/0000-0003-4597-2697>

2nd Author: <https://orcid.org/0000-0003-5931-7539>

3rd Author: <https://orcid.org/0000-0002-9276-1975>

4th Author: <https://orcid.org/0000-0002-9765-008X>

5th Author: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4937>

6th Author: <https://orcid.org/0000-0003-5595-4824>

Note: Abbreviations of author names should be used for “**Authors’ Contributions**”, e.g.:

Authors’ Contributions

AP, NSh and AA: Conceptualized and designed the study, conducted a comprehensive literature search, analyzed the gathered data and drafted the manuscript. MM, AT and ZS: Conducted the final revision and proofreading of the manuscript. All authors have read, reviewed, and approved the final manuscript.

Information on funding

The work was carried out with financial support within the framework of program-targeted financing for 2022-2024 of the scientific and technical program BR18574066 "Creation of a biobank of industrial microorganisms of biotechnological importance for biosafety in the field of biotechnology, ecology, agriculture".

МАЗМҰНЫ

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАРЫ

Бас редактордың құттықтау сөзі	4
Джумагулова И., Джумагулов А., Әжімахан М.Ә., Байбусенов К.С., Макишев Т.К. Изучение распространённых болезней сосны, ели и клёна и проверка эффективности фунгицидных препаратов.....	5
Камарова Д.Н., Хасанов В.Т., Әжімахан М.Ә., Сүлейман М.А., Даулет Д. Изучение антифунгального эффекта водно-этанольных экстрактов <i>Hericium erinaceus</i> против возбудителей болезней картофеля.....	15
Крекова Я.А., Чеботько Н.К., Раушан Ә.Б. Декоративные кустарники для озеленения северного региона Казахстана.....	27
Коньсбаева Д.Т., Горбуля В.С., Мырзабаева М.Т., Шоман А.Е., Сабитова З.Д. Влияние гумата калия на ростовые процессы и биомассу микрозелени в условиях гидропонной системы.....	40
Gulzhamal Zh. Abdieva, Perizat S. Ualieva, Azhar M. Malik, Kenzhegul S. Shauliyeva, Milana E. Yermekova, Inqkar Y. Dauletkan Study of agrochemical properties and microbial diversity of soils of Southern Kazakhstan.....	51
Кабанова С.А., Оспанғалиев А.С., Кабанов А.Н. Научный опыт по адаптации интродуцентов в зелёном поясе города Астаны.....	68
Есимсеитова А.К., Какимжанова А.А., Абдрахманова А.Б., Токбергенова Ж.А., Абдуллаева Б.М. Создание и характеристика гибридных популяций томата как исходного материала для геномного картирования устойчивости к альтернариозу.....	77
Қажғалиев Н.Ж., Маханбетова А.Б., Нұргүлсім Қ., Габбасов М.Б., Жумагазиева С.М., Аманғалиев Т.Г. Қалмақ тұқымы бұқашықтарының әртүрлі ұлпаларында анықталған полиморфты гендердің мРНҚ экспрессиясы және корреляциялық байланысы.....	90
Кананин Ч.Б., Курбанбаев А.И., Хозыбай Х., Ергара Ф. Влияние способов уборки на урожайность семян масличного льна в условиях степной зоны Северного Казахстана.....	102
Косилов В.И., Губашев Н.М., Жумагазиева С.М., Аманғалиев Т.Г., Махимова Ж.Н., Қожабергенов А.Т. Етті бағыттағы ірі кара мал тұқымдарының піштірілген бұқашықтарының бордақылау сапасын жайып-семірту және қорада бағып-күту жағдайларында салыстырмалы бағалау.....	110
Berik Rakhimzhanov, Alexander Sidorik Relief variation influence on soil moisture in agrofields in Northern Kazakhstan.....	123
Жағипарова М.Е., Аникина И.Н. Нанобөлшектер – өсімдік ұлпаларын in vitro культивирлеу технологиясының элементі.....	144
Орынбасар Н.Қ., Майсупова Б.Д., Карагойшин Ж.М., Асылбекова А.С., Баринова Г.К., Буршакбаева Л.М. Сайрам-Өгем мемлекеттік ұлттық табиғи паркіндегі сібір елігі мен қабанның таралуы мен саны.....	156
Досманбетов Д.А., Еркінбекова Г.К., Каспақбаев Е.М., Ахметов Р.С., Майсупова И.К., Конабаева А.А. Іле өзенінің бойындағы тоғай ормандарының жерасты суы деңгейін зерттеу.....	169
Assel K. Kadyrbayeva, Azamat S. Zholamanov Improving the phytosanitary control system of the Republic of Kazakhstan in the context of international obligations and digital transformation.....	180

Meruyert B. Tastybay, Deli Wang, Ashimkhan T. Kanaev, Kanysh I. Kushenov, Ainur I. Seitbatalova Trait-based responses of Gram-positive and Gram-negative soil bacteria to grazing intensity in steppe ecosystems.....	187
Қазез А., Бексейтова К., Жанпарова А.А., Кенжегулова С.О., Тоқтар М., Азам С. Экологиялық деградацияға ұшыраған тұзданған және органикалық ластанған топырақты қалпына келтірудегі биокөмірдің рөлі.....	198
Ғұбайдуллин Н.Н., Алсар Ж.Т., Гаджимурадова А.М., Исмуканова Г.Ж., Инсенов З.А., Мансуров З.А. Торийдің агроэкожүйелердегі рөлі: түсу көздері, «топырақ-су» жүйесіндегі миграциясы және тәуекелдерді төмендетудің сорбциялық тәсілдері.....	213
Saniya Aktayeva, Annelya Tursunbekova, Arman Mussakhmetov, Karina Maksutova, Aiida Ussenbay, Bekbolat Khassenov Enzymatic activity of <i>Bacillus paralicheniformis</i> T7 strain and its application in cheese production.....	230
Қурманғожинов А.Ж., Мукантаев Е.А., Wei Xue, Жұмай Е., Казанганова Н.Б., Жумагулова М.С. Динамика естественного возобновления <i>Betula pendula</i> Roth и <i>Populus tremula</i> L в Айыртауском филиале ГНПП «Кокшетау».....	243
Мамбаева А.Ш., Саданов А.К., Ондаканов Д.А., Сандыбаева А.М., Лозовицкая Б. Биофизикалық әдістермен синтезделген нанобөлшектер және оларды өсімдік патогендеріне қарсы қолдануды модельдеу.....	254
Қужинов М.Б., Ақшалов К.А., Жұмабек Б., Байшоланов С.С., Баймуканова О.Н. Агроклиматические ресурсы и продуктивность яровой пшеницы в засушливых условиях Казахстана: анализ, решения, потенциал.....	262
Найзабекова А.А., Искакова З.Д. Экономическое обоснование влияния инвестиции на выпуск сельскохозяйственной продукции Казахстана.....	276

Еуразиялық агротехникалық журнал
Eurasian Agrotechnical Journal
Евразийский агротехнический журнал

Сәкен Сейфуллин атындағы

Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

№ 1 (129) 2026

Қазақстан Республикасы Мәдениет және ақпарат министрлігімен тіркелген
Мерзімді басылымды тіркеу туралы куәлік
№ KZ80VPY00141955 16 ақпан 2026 ж.
(Алғашқы тіркеу күні мен нөмірі 2002 жылғы 18 ақпандағы № 2692-Ж)

Редакторы: Кокумбекова Н.К.

Техникалық редакторы: Жумабекова М.М.

Компьютерде беттеген: Романенко С.С.

Басуға қол қойылды 31.03.2026; Пішімі 60 x 84^{1/8};
Times New Roman гарнитурасы; Шартты б.т.15,86;
Есептік б.т. 17,68; Таралымы 50; Тапсырыс № 26024

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу
университетінің баспасында басылды,
010011, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62
Анықтама телефондары: + 7 (7172) 31-02-45