KOZYBAYEV UNIVERSITY

ISSN 2958-0048 (Online)
ISSN 2958-003X (Print)
Индекс 7493



М. ҚОЗЫБАЕВ АТЫНДАҒЫ СҚУ ХАБАРШЫСЫ

ВЫПУСК № 3 (71) 2026
шілде-тамыз-қыркүйек; июль-август-сентябрь

МАНАШ ҚОЗЫБАЕВ АТЫНДАҒЫ
СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІНІҢ

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ МАНАША КОЗЫБАЕВА

ISSN 2958-003X (Print)
ISSN 2958-0048 (Online)
Индексі 74935
Индекс 74935

М. ҚОЗЫБАЕВ АТЫНДАҒЫ СҚУ

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

СКУ ИМЕНИ М. КОЗЫБАЕВА

№ 3 (71)

шілде – тамыз – қыркүйек

Петропавл
2026

Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінің Хабаршысы
Вестник Северо-Казахстанского университета имени Манаша Козыбаева
Bulletin of Manash Kozybayev North Kazakhstan University

Басылымы III (LXXI)
Выпуск III (LXXI)
Volume III (LXXI)

Жылына 4 рет басылып шығарылады
Выходит 4 раза в год
Published 4 times a year

Бас редактор:
Демьяненко Александр Валентинович, «Энергетика және радиоэлектроника» кафедрасының профессоры, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан).

Редактор:
Островская Валерия Станиславовна, ғылыми журнал және ғылымметрия секторының редакторы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан).

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА:

I. ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАР

Доскенова Бану Бейсеновна, жауапты хатшы, биология ғылымдарының кандидаты, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Пашков Сергей Владимирович, география ғылымдарының кандидаты, математика және жаратылыстану ғылымдары факультетінің деканы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Поляков Владилен Васильевич, химия ғылымдарының докторы, профессор, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Макаров Сергей Викторович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Алтай мемлекеттік университеті (Барнаул, Ресей);
Wendt, **Jan A**., PhD докторы, профессор, Гданьск университеті (Гданьск, Польша);
Panyushkina Irina P., PhD, профессор, Дендрохронологиялық зерттеулер зертханасының зерттеушісі, Аризона университеті (Тусон, АҚШ);

II. БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

Тлеубергенова Гүлнара Сейтқасымқызы – жауапты хатшы, биология ғылымдарының кандидаты, «Биология» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті (Петропавл, Қазақстан);
Gerba, Charles P., PhD, профессор, Аризона университеті (Тусон, АҚШ);
Khan, Shujaul Mulk – PhD докторы, экология және ботаника ғылымдарының штаттық профессоры, Пәкістан ғылым академиясының мүшесі, UNISG университетінің шақырылған оқытушысы, Куэйд-и-Азам университеті (Исламабад, Пәкістан);
Zuccolo, Andrea – PhD докторы, (халықаралық) профессор, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінің Халықаралық кампусы (Петропавл, Қазақстан); Сант-Анна жоғары мектебінің Өсімдік ғылымдары институты (Пиза, Италия);
Petkov, Nikolay, PhD докторы, Болгарияның құстарды қорғау қоғамының жетекші ғылыми қызметкері (София, Болгария);
Сибатаев Ануарбек Каримович, биология ғылымдарының докторы, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ "Биология, өсімдіктерді қорғау және карантин» кафедрасының меңгерушісі (Астана, Қазақстан);
Гаврилов Андрей Эдуардович, биология ғылымдарының кандидаты, Зоология институтының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан);
Какабаев Ануарбек Аязбаевич, биология ғылымдарының кандидаты, Ғылым және инновациялар жөніндегі Басқарма мүшесі, М. Қозыбаев атындағы СҚУ(Петропавл, Қазақстан);

Кубентаев Серик Аргынбекович, PhD докторы, «Ботаника және фитоинтродукция институты» РМК филиалы Астана ботаникалық бағы флора және өсімдік ресурстары зертханасының доценті (Астана, Қазақстан).
Шарипова Молдир Жакыпжановна, PhD, Астана Халықаралық университетінің қауымдастырылған профессоры (Астана, Қазақстан);

III. ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

Добровольская Лиана Валерьевна, жауапты хатшы, педагогика ғылымдарының кандидаты(PhD), аға оқытушы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ(Петропавл, Қазақстан);
Amaretti, **Guido**, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Генуя университеті (Генуя, Италия);
Мурзалинова Алма Жакимовна, педагогика ғылымдарының докторы, «Педагогика және психология» кафедрасының профессоры, М. Қозыбаев атындағы СҚУ(Петропавл, Қазақстан);
Нұрбекова Жанат Кунапиановна, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Халықаралық Ақпараттандыру Академиясының және ҚР педагогика ғылымдары Академиясының академигі, Абай атындағы ҚазҰПУ профессор-зерттеушісі (Алматы, Қазақстан);
Тагильцева Наталия Григорьевна, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Орал мемлекеттік педагогикалық университеті (Екатеринбург, Ресей);
Писарева Светлана Анатольевна, Ресей білім академиясының корреспондент-мүшесі, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, А.И. Герцен атындағы Ресей мемлекеттік педагогикалық университетінің ғылыми жұмыс жөніндегі проректоры (Санкт-Петербург, Ресей);
Тряпицына Алла Прокофьевна, Ресей білім академиясының корреспондент-мүшесі, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, А.И. Герцен атындағы Ресей мемлекеттік педагогикалық университетінің ғылыми жұмыс жөніндегі проректоры (Санкт-Петербург, Ресей).

IV. ӘЛЕУМЕТТІК-ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

Кендюх Евгений Иванович, жауапты хатшы, экономика ғылымдарының докторы, «Экономика, есеп және қаржы» кафедрасының доценті, М.Қозыбаев атындағы СҚУ(Петропавл, Қазақстан);
Figus, **Alessandro**, саяси ғылымдар кандидаты, PhD, профессор, Оңтүстік Лацио Кассино университеті ректорының кеңесшісі (Кассино, Италия);
Рамазанова Махаббат, Туризм саласындағы философия докторы (PhD), REMIT – Экономика, менеджмент және ақпараттық технологиялар жөніндегі ғылыми-зерттеу орталығының зерттеушісі, Португалиялық университеті (Порту, Португалия);
Даржанова Мунира Шамсутдиновна, экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Каспий университеті (Алматы, Қазақстан);
Лыман Игорь Игоревич, тарих ғылымдарының докторы, профессор, Бердянск мемлекеттік педагогикалық университеті (Бердянск, Украина);
Мамедзаде Ильхам Рамиз Оглу, философия ғылымдарының докторы, профессор, Баку ғылым академиясы (Баку, Әзірбайжан);
Saulius, Nefas, әлеуметтану ғылымдарының докторы, профессор, Миколас Ромерис университеті (Вильнюс, Литва);
Патласов Олег Юрьевич, экономика ғылымдарының докторы, профессор, Омбы гуманитарлық академиясы (Омбы, Ресей);
Сандыбаев Жалғас Саудакасулы, философия ғылымдарының докторы, «Нұр Мүбарак» Египет ислам мәдениеті университеті (Алматы, Қазақстан).

V. АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ҒЫЛЫМДАР

Кантарбаева Эльмира Ерболовна, жауапты хатшы, «Агрономия және орман шаруашылығы» кафедрасының доценті, PhD, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Шаяхметова Алтын Сейтахметқызы, а/ш.ғ.к., агротехнология факультетінің деканы, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Ташев Александр Николаевич, PhD докторы, профессор, орман техникалық университеті (София, Болгария);
Shan,Weixing, PhD докторы, Professor, Солтүстік-Батыс ауыл және орман шаруашылығы университеті (Янлин, Шэньси провинциясы, Қытай);
Fitzsimmons, Kevin, PhD докторы, профессор, халықаралық бағдарламалар директоры, Аризон университеті (Тусон, Аризона штаты, АҚШ);
Yang, Yuxin, PhD докторы, Professor, Солтүстік-Батыс ауыл және орман шаруашылығы университеті (Янлин, Шэньси провинциясы, Қытай);
Jiang, Zhongliang, PhD докторы , Professor, Солтүстік-Батыс ауыл және орман шаруашылығы университеті (Янлин, Шэньси провинциясы, Қытай);
Dazzi, Carmelo, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор, Палермо университеті(Палермо, Италия);
Lo Papa, Giuseppe, PhD докторы, Палермо университетінің қауымдастырылған профессоры, (Палермо, Италия).

VI. ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

Шапорева Анна Васильевна, жауапты хатшы, «Құрылыс және дизайн» кафедрасының доценті, PhD, халықаралық ақпараттандыру академиясының академигі, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Ивель Виктор Петрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Косых Анатолий Владимирович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Омбы мемлекеттік техникалық университеті (Омбы, Ресей);
Попов Андрей Юрьевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Омбы мемлекеттік техникалық университеті (Омбы, Ресей);
Кошеков Кайрат Темирбаевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ (Алматы, Қазақстан);
Кузнецова Виктория Николаевна, техника ғылымдарының докторы, доцент, Сібір мемлекеттік автомобиль-жол академиясы (Омбы, Ресей);
Савостин Алексей Александрович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан).

VII. АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Куликова Валентина Петровна, жауапты хатшы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, М. Қозыбаев атындағы СҚУ(Петропавл, Қазақстан);
Arrichiello, Filippo, PhD докторы, Кассино және Оңтүстік Лацио университетінің, «Электротехника және информатика басқару жүйелері» кафедрасының профессоры (Италия);
Cantelli-Forti, Alessandro, PhD докторы, Ұлттық радиолокациялық және бақылау жүйелері зертханасы (RaSS), Италия;
Lupidi, Alberto, PhD докторы, Ұлттық радиолокациялық және бақылау жүйелері зертханасы (RaSS), Италия;
Levashenko, Vitaly, PhD докторы, Жилин университетінің профессоры (Жилин, Словакия);
Zaitseva, Elena, PhD докторы, Жилин университетінің профессоры (Жилин, Словакия).

VIII. ФИЛОЛОГИЯ ҒЫЛЫМДАР

Жуанышпаева Самал Жаметовна, жауапты хатшы, филология ғылымдарының кандидаты, «Практикалық қазақ тілі» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Дроботенко Юлия Борисовна, педагогика ғылымдарының докторы, ОмГПУ Шет тілдері кафедрасының профессоры (Омбы, Ресей);
Petek, Ercan, PhD докторы, Токат Газиосманпаша Университеті (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi), Түркия;
Кадыров Жанбай Туарович, филология ғылымдарының кандидаты, «Қазақ тілі мен әдебиеті» кафедрасының профессоры, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Какимова Майра Еренгаиповна, филология ғылымдарының кандидаты, «Герман-роман филологиясы» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы СҚУ(Петропавл, Қазақстан);
Крылова Людмила Анатольевна, педагогика ғылымдарының докторы, «Орыс тілі мен әдебиеті» кафедрасының еңбек сіңірген профессоры (профессоры), М. Қозыбаев атындағы СҚУ(Петропавл, Қазақстан);
Мухамеджанова Гульмира Тастемировна, PhD докторы, «Қазақ тілі мен әдебиеті» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Сабиева Елена Викторовна, филология ғылымдарының кандидаты, «Орыс тілі мен әдебиеті» кафедрасының доценті, М. Қозыбаев атындағы СҚУ (Петропавл, Қазақстан);
Stodden, Robert, Маноадағы Гавайи университетінің профессоры (АҚШ Гонолулу, Гавай аралдары);
Таласпаева Жанар Серкешовна, филология ғылымдарының кандидаты, «Қазақ тілі мен әдебиеті» профессоры, М. Қозыбаев атындағы СҚУ(Петропавл, Қазақстан).

Главный редактор:
Демьяненко Александр Валентинович, профессор кафедры «Энергетика и радиоэлектроника», кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан).

Редактор:
Островская Валерия Станиславовна, редактор сектора научного журнала и наукометрии,
СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

I. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Доскенова Бану Бейсеновна, ответственный секретарь, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры «География и экология», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);

Пашков Сергей Владимирович, кандидат географических наук, декан факультета математики и естественных наук, СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Поляков Владилен Васильевич, доктор химических наук, профессор, СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Макаров Сергей Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия);
Wendt, Jan A., доктор PhD, профессор, Гданьский университет (Гданьск, Польша).
Panyushkina Irina P., PhD, профессор, исследователь, Лаборатория дендрохронологических исследований, Университет Аризоны (Тусон, США);

II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Тлеубергенова Гульнара Сейткасымовна, ответственный секретарь, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биология», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Gerba, Charles P., PhD, профессор, Университет Аризоны (Тусон, США);
Khan, Shujaul Mulk, доктор PhD, штатный профессор экологии и ботанических наук, член Пакистанской академии наук, приглашенный преподаватель UNISG, Университет Куэйд-и-Азам (Исламабад, Пакистан);
Zuccolo, Andrea, доктор PhD, профессор (международный), Международный кампус, СКУ им. Манаша Козыбаева (Петропавловск, Казахстан); Институт науки о растениях, Высшая школа Сант-Анна (Пиза, Италия);
Petkov, **Nikolay**, доктор PhD, ведущий научный сотрудник Болгарского общества защиты птиц (София, Болгария);
Сибатаев Ануарбек Каримович, доктор биологических наук, заведующий кафедрой «Биология, защита и карантин растений» НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина» (Астана, Казахстан);
Гаврилов Андрей Эдуардович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института зоологии (Алматы, Казахстан);
Какабаев Ануарбек Аязбаевич, кандидат биологических наук, член Правления по науке и инновациям СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Кубентаев Серик Аргынбекович, доктор PhD, ассоциированный профессор лаборатории флоры и растительных ресурсов Астанинского ботанического сада филиала РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» (Астана, Казахстан).
Шарипова Молдир Жакыпжановна, PhD, ассоциированный профессор Международного университета Астана (Астана, Казахстан);

III. ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Добровольская Лиана Валерьевна, ответственный секретарь, кандидат педагогических наук (PhD), старший преподаватель, СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Amaretti, Guido, доктор педагогических наук, профессор, Университет Генуи (Генуя, Италия);
Мурзалинова Алма Жакимовна, доктор педагогических наук, профессор, СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Нурбекова Жанат Кунапиановна, доктор педагогических наук, профессор, академик Международной Академии Информатизации и Академии педагогических наук РК, профессор-исследователь КазНПУ им. Абая (Алматы, Казахстан);
Тагильцева Наталия Григорьевна, доктор педагогических наук, профессор, Уральский государственный педагогический университет (Екатеринбург, Россия);
Писарева Светлана Анатольевна, член-корреспондент Российской академии образования, доктор педагогических наук, профессор, проректор по научной работе Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);
Тряпицына Алла Прокофьевна, академик Российской академии образования, доктор педагогических наук, профессор, директор института педагогики Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия).

IV. СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Кендюх Евгений Иванович, ответственный секретарь, доцент кафедры «Экономика, учет и финансы», доктор экономических наук, СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Figus, Alessandro, кандидат политических наук, PhD, профессор, советник ректора университета Кассино Южного Лацио (Кассино, Италия);
Рамазанова Махаббат, Доктор PhD в области туризма, Исследователь научного центра REMIT – Исследовательский центр экономики, менеджмента и информационных технологий Университет Портукаленсе, (Порту, Португалия);
Даржанова Мунира Шамсутдиновна, кандидат экономических наук, ассоциированный профессор, Каспийский университет (Алматы, Казахстан);

Лыман Игорь Игоревич, доктор исторических наук, профессор, Бердянский государственный педагогический университет (Бердянск, Украина);
Мамедзаде Ильхам Рамиз Оглу, доктор философских наук, профессор, Академия наук Баку (Баку, Азербайджан);
Saulius, Nefas, доктор социологических наук, профессор, университет им. Миколаса Ромериса (Вильнюс, Литва);
Патласов Олег Юрьевич, доктор экономических наук, профессор, Омская гуманитарная академия (Омск, Россия);
Сандыбаев Жалгас Саудакасулы, доктор философских наук, Египетский университет исламской культуры «Нур Мубарак» (Алматы, Казахстан).

V. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Кантарбаева Эльмира Ерболовна, ответственный секретарь, доктор PhD, доцент кафедры «Агрономия и лесоводство», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Шаяхметова Алтын Сейтахметовна, кандидат сельскохозяйственных наук, декан агротехнологического факультета, СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Tashev, Alexander N., доктор PhD, профессор, Лесотехнический университет (София, Болгария);
Shan, Weixing, доктор PhD, Professor, Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства (Янлин, провинция Шэньси, Китай);
Fitzsimmons, Kevin M., доктор PhD, Профессор, директор международных программ, Университет Аризоны (Тусон, штат Аризона, США);
Yang, Yuxin, доктор PhD, Professor, Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства (Янлин, провинция Шэньси, Китай);
Jiang, Zhongliang, доктор PhD, Professor, Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства (Янлин, провинция Шэньси, Китай);
Dazzi, Carmelo, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Университет Палермо (Палермо, Италия);
Lo Papa, Giuseppe, доктор PhD, ассоциированный профессор Университета Палермо, (Палермо, Италия).

VI. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Шапорева Анна Васильевна, ответственный секретарь, доцент кафедры «Строительство и дизайн», PhD, академик Международной академии информатизации, СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Ивель Виктор Петрович, доктор технических наук, профессор, СКУ им. М. Козыбаева СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Косых Анатолий Владимирович, доктор технических наук, профессор, Омский государственный технический университет (Омск, Россия);
Попов Андрей Юрьевич, доктор технических наук, профессор, Омский государственный технический университет (Омск, Россия);
Кошеков Кайрат Темирбаевич, доктор технических наук, профессор, АО «Академия гражданской авиации» (Алматы, Казахстан);
Кузнецова Виктория Николаевна, доктор технических наук, доцент, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (Омск, Россия);
Савостин Алексей Александрович, кандидат технических наук, профессор, СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан).

VII. ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Куликова Валентина Петровна, ответственный секретарь, кандидат технических наук, профессор кафедры «Информационно-коммуникационные технологии», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Arrichiello, Filippo, доктор PhD, профессор кафедры техники управления электротехники и информатики Университета Кассино и Южного Лацио (Италия);
Cantelli-Forti, Alessandro, доктор PhD, Национальная лаборатория радиолокационных систем и систем наблюдения (RaSS), Италия;
Lupidi, Alberto, доктор PhD, Национальная лаборатория радиолокационных систем и систем наблюдения (RaSS), Италия;
Levashenko, Vitaly, доктор PhD, профессор университета Жилина (Жилин, Словакия);
Zaitseva, Elena, доктор PhD, профессор университет Жилина (Жилин, Словакия).

VIII. ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Жуанышпаева Самал Жаметовна, ответственный секретарь, кандидат филологических наук, доцент кафедры «Практический казахский язык», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);

Дроботенко Юлия Борисовна, доктор педагогических наук, профессор кафедры иностранных языков ОмГПУ (Омск, Россия);
Ercan Petek, доктор PhD, Университет Токат Газиосманпаша, Турция (Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi);
Кадыров Жанбай Туарович, кандидат филологических наук, профессор кафедры «Казахский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Какимова Майра Еренгаиповна, кандидат филологических наук, доцент кафедры «Германо-романская филология», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Крылова Людмила Анатольевна, доктор педагогических наук, заслуженный профессор (профессор) кафедры «Русский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Мухамеджанова Гульмира Тастемировна, доктор PhD, доцент кафедры «Казахский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Сабиева Елена Викторовна, кандидат филологических наук, доцент кафедры «Русский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан);
Stodden, Robert, профессор Гавайского университета в Маноа (Гонолулу, Гавайские острова, США);
Таласпаева Жанар Серкешовна, кандидат филологических наук, профессор кафедры «Казахский язык и литература», СКУ им. М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан).

Editor-in-Chief:
Aleksandr Demyanenko, Professor at the Department of Energetics and Radio Electronics, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan).

Editor:
Ostrovskaya Valeria, editor of the scientific journal and scientometrics sector, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan).

EDITORIAL BOARD:

I. NATURAL SCIENCES

Banu Doskenova, executive secretary, candidate of biological sciences, senior lecturer, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Sergey Pashkov, candidate of geographical sciences, Dean of the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Vladilen V. Polyakov, doctor of chemical sciences, Professor, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Sergey Makarov, doctor of physical and mathematical sciences, professor, Altai State University (Barnaul, Russia);
Jan Wendt, PhD, professor, University of Gdansk (Gdansk, Poland).
Irina P. Panyushkina, PhD, Research Professor, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona (Tucson, USA);

II. BIOLOGICAL SCIENCES

Gulnara Tleubergenova, Executive Secretary, PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Biology Department, Manash Kozybayev North Kazakhstan University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Charles P. Gerba, PhD, Professor, University of Arizona (Tucson, USA);
Shujaul Mulk Khan, PhD, Full Professor of Ecology and Botanical Sciences, Fellow of the Pakistan Academy of Sciences, Visiting Lecturer at UNISG, Quaid-i-Azam University (Islamabad, Pakistan);
Andrea Zuccolo, PhD, Full Professor (International), International Campus, Manash Kozybayev North Kazakhstan University (Petropavlovsk, Kazakhstan); Crop Science Institute, Sant'Anna School of Advanced Studies (Pisa, Italy);
Nikolay Petkov, PhD, leading researcher at the Bulgarian Society for the Protection of Birds (Sofia, Bulgaria);
Anuarbek Sibataev, doctor of biological sciences, Head of the Department of Biology, Protection and Quarantine of Plants, NJSC Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin (Astana, Kazakhstan);
Andrey Gavrilov, candidate of biological sciences, leading researcher at the Institute of Zoology (Almaty, Kazakhstan);
Anuarbek Kakabaev, Candidate of Biological Sciences, Board Member for Science and Innovation at Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Serik Kubentaev, PhD, associate professor of the laboratory of flora and plant resources of the Astana Botanical Garden, branch of the RSE Institute of Botany and Phytointroduction (Astana, Kazakhstan).
Moldir Sharipova, PhD, associate professor Astana International University (Astana, Kazakhstan);

III. PEDAGOGICAL SCIENCES

Liana Dobrovolskaya, executive secretary, candidate of pedagogical sciences (PhD), senior lecturer, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Amoretti Guido, doctor of pedagogical sciences, professor, University of Genoa (Genoa, Italy);

Alma Murzalinova, doctor of pedagogical sciences, professor of the Pedagogy and Psychology Department, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);

Zhanat Nurbekova, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Academician of the International Academy of Informatization and the Academy of Pedagogical Sciences of the Republic of Kazakhstan, Research Professor at Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty);
Natalia Tagiltseva, doctor of pedagogical sciences, professor, Ural State Pedagogical University (Yekaterinburg, Russia);
Svetlana Pisareva, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research at the Herzen State Pedagogical University of Russia (St. Petersburg, Russia);
Alla Tryapitsyna, Academician of the Russian Academy of Education, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Director of the Institute of Pedagogy at the Herzen State Pedagogical University of Russia (St. Petersburg, Russia).

IV. SOCIAL AND HUMANITARIAN SCIENCES

Yevgeniy Kendyukh, Executive Secretary, Associate Professor at the Department of Economics, Accounting, and Finance, Doctor of Economic Sciences, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Alessandro Figus, candidate of political sciences, PhD, Professor, Advisor to the Rector of the University of Cassino South Lazio (Cassino, Italy);
Makhabbat Ramazanova, PhD in Tourism Researcher at REMIT – research centre on economics, management and information technologies University Portucalense (Porto Portugal);
Munira Darzhanova, candidate of economic sciences, associate professor, Caspian University (Almaty, Kazakhstan);
Igor Lyman, doctor of historical sciences, professor, Berdyansk State Pedagogical University (Berdyansk, Ukraine);
Ilham Ramiz Oglu Mammadzade, doctor of philosophy, professor, Baku Academy of Sciences (Baku, Azerbaijan);
Nefas Saulius, doctor of sociology, professor, University Mykolas Romeris (Vilnius, Lithuania);
Oleg Patlasov, doctor of economics, professor, Omsk Humanitarian Academy (Omsk, Russia);
Zhalgas Sandybayev, doctor of philosophy, Egyptian University of Islamic Culture "Nur Mubarak" (Almaty, Kazakhstan).

V. AGRICULTURAL SCIENCES

Elmira Kantarbayeva, Executive Secretary, PhD, Associate Professor at the Department of Agronomy and Forestry, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Altyn Shayakhmetova, candidate of agricultural sciences, Dean of the Faculty of Agrotechnology, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Alexander Tashev, PhD, professor, Forestry Engineering University (Sofia, Bulgaria);
Weixing Shan, PhD, Professor, Northwest A&F University (Yangling, Shaanxi, China);
Kevin M. Fitzsimmons, PhD, Professor, Director of International Programs, University of Arizona (Tucson, Arizona, USA);
Yuxin Yang, PhD, Professor, Northwest A&F University (Yangling, Shaanxi, China);
Zhongliang Jiang, PhD, Professor, Northwest A&F University (Yangling, Shaanxi, China);
Carmello Dazzi, PhD, Professor, University of Palermo (Palermo, Italy);
Joseppe Lo Papa, PhD, Professor (Associate) at University of Palermo University (Palermo, Italy).

VI. TECHNICAL SCIENCES

Anna Shaporeva, Executive Secretary, Associate Professor at the Department of Construction and Design, PhD, Academician of the International Academy of Informatization, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Viktor Ivel, doctor of technical sciences, professor, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Anatoly Kosykh, doctor of technical sciences, professor, Omsk State Technical University (Omsk, Russia);
Andrey Popov, doctor of technical sciences, professor, Omsk State Technical University (Omsk, Russia);
Kairat Koshekov, doctor of technical sciences, professor, JSC "Academy of Civil Aviation" (Almaty, Kazakhstan);
Victoria Kuznetsova, doctor of technical sciences, associate professor, Siberian State Automobile and Road Academy (Omsk, Russia);
Alexey Savostin, candidate of technical sciences, professor, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan).

VII. INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Valentina Kulikova, executive secretary, candidate of technical sciences, professor of the Department of Information and Communication Technologies, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Filippo Arrichiello, PhD, professor of the Department of Control Engineering, Electrical Engineering and Computer Science, University of Cassino and Southern Lazio (Italy);
Alessandro Cantelli-Forti, PhD, National Laboratory of Radar and Surveillance Systems (RASS), Italy;
Alberto Lupidi, PhD, National Laboratory of Radar and Surveillance Systems (RASS), Italy;

Vitaly Levashenko, PhD, professor at the University of Zilina (Zilin, Slovakia);
Elena Zaitseva, PhD, professor at the University of Zilina (Zilin, Slovakia).

VIII. PHILOLOGICAL SCIENCES

Samal Zhuanyshpayeva, executive secretary, candidate of philological sciences, associate professor of the department of «Practical Kazakh language», Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Yulia Drobotenko, doctor of pedagogical sciences, professor of the Department of Foreign Languages (Interfaculty) of OmSPU (Omsk, Russia);
Yerzhan Petek, PhD, Turkey, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi University;
Zhanbai Kadyrov, candidate of philological sciences, professor of the department «Kazakh language and literature», Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Mayra Kakimova, candidate of philological sciences, associate professor of the Department of German-Romance Philology, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Lyudmila Krylova, doctor of pedagogical sciences, honored professor (professor) of the Department of Russian Language and Literature, Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Gulmira Mukhamedzhanova, PhD, associate professor of the Department of «Kazakh Language and Literature», Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Elena Sabieva, candidate of philological sciences, associate professor of the department «Russian language and literature», Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan);
Robert Stodden, professor at the University of Hawaii at Manoa (USA, Honolulu, Hawaiian Islands);
Zhanar Talaspayeva, candidate of philological sciences, professor of the Department of «Kazakh language and literature», Kozybayev University (Petropavlovsk, Kazakhstan).

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінің Хабаршысы / Вестник Северо-Казахстанского университета имени М. Козыбаева.
Шығарылым № 3 (71). – Петропавл: М. Қозыбаев атындағы СҚУ, 2026. – 399 б. / Выпуск № 3 (71). – Петропавловск: СКУ им. М. Козыбаева, 2026. – 399 с.

Журнал РҒНИ (eLIBRARY) деректер базасына енгізілген / Журнал включен в базу данных РИНЦ (eLIBRARY).

ISSN 2958-003X (Print)
ISSN 2958-0048 (Online)

© М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, 2026 ж., Петропавл қ.

МАЗМҰНЫ / СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАР / ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ / NATURAL SCIENCES

Duman A., Toleubek M.T., Yelemes T.Zh. Distributionally robust hamiltonian cycle optimization on stochastic graphs via Wasserstein-metric genetic algorithms: empirical evidence from Almaty and Astana..... 13
Тажибаева Л.А., Мажитова Г.З. Опыт применения ГИС и материалов ДЗЗ для картографирования лесов Северо-Казахстанской области..... 26

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGICAL SCIENCES

Genievskaya Y.A., Abugalieva S.A., Turuspekov Y.K., Zatybekov A.K. Development of mutant forms of *Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq. Via EMS mutagenesis for domestication in arid environments..... 35
Ikramkulova F.R., Malik A.M., Abdulzhanova M.A., Kirpichenko V.V., Akshalova P. B., Kassen A.Zh., Nurpeisova A.S. Mutational dynamics and evolution of zoonotic RNA viruses in natural reservoirs..... 45
Kabdolla E., Myrzabayev A.B., Tnimova G.T., Bodeyev M.T., Sabanbayev N.I. The importance of biological age in assessing the health level of university teachers..... 58
Kornievskaya E.V., Kurovsky A.V, Jibril M.S., Ogra I.O., Yange I.A., Jafrey M.S.A., Babenko A.S. Balance of nitrogen and microbiological characteristics of vermicomposts obtained from the processing of cow manure, leaf litter, and mown grass..... 67
Абдулжанова М.А., Бахытжан Н.Н. Биотехнологическая разработка кормовых пробиотиков на основе *Bacillus subtilis* с применением лиофилизации..... 77
Дмитриев П.С., Галактионова Е.В., Зубань И.А., Климавичуте А.А., Седельников И.А. Современный аннотированный список видов редких лекарственных растений Северо-Казахстанской области..... 90
Достемесова А.Б., Камарова Д.Н., Әжімахан М.Ә., Сүлейман М.А., Хасанов В.Т., Избастина К.С., Мухтубаева С.К., Шарипова М.Ж. Антифунгальная активность и GC–MS-профиль гидроэтанольного экстракта *Chelidonium majus* L. в отношении *Fusarium spp.* картофеля..... 107
Сибатаев А.К., Вассерлауф И.Э., Сибатаева А.М., Мейрамхан Л., Абылкасымова Г.М. Хромосомная изменчивость в популяциях *Anopheles messeae* в окрестностях г. Астаны..... 122

ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / PEDAGOGICAL SCIENCES

Айсина Н.Б., Сабанбаев Н.И., Шитов А.А., Семененко С.П. Спорттық зерттеулер мен статистикалық талдау негізінде дене дайындық сапасын бағалау жүйесі..... 136

Астапова В.Е., Исабекова А.Н., Сидельник Д.В., Остафейчук Н.В. Преодоление разрыва между теорией и экспериментом: качественный анализ в олимпиадной подготовке..... 148
Есматова М.Т., Зейлова М.Ш. Ұлттық жалпы білім беретін мектептің 7-сыныбында қазақ тілін деңгейлеп оқыту әдістемесі..... 161
Мурзалинова А.Ж., Енсегенова Г.Ж., Сытникова Н.А., Степаненко Т.С. Организация критериального оценивания на уроках английского языка в школе в аспекте саморегулируемого оценивания обучающихся..... 172
Тимошина О.С. Развитие soft skills у учащихся начальной школы на основе метода обучения через деятельность (Activity-Based Learning)..... 191

ӘЛЕУМЕТТІК-ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ / SOCIAL AND HUMAN SCIENCES

Абуов Н.А., Бекмурзина А.Н., Алимжанов А.Х. Екінші дүниежүзілік соғыс жылдарындағы фашистік лагерьлердегі кеңес әскери тұтқындары..... 203
Насуханов И.М., Протасова О.В. Факторы роста внутренних цен на говядину в Казахстане..... 214

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Salimov K.H., Soliev Sh.T. Azotobacterin as a microbiological fertilizer for improving soil fertility and crop yield..... 229
Амангелді Ж.К., Савенкова И.В., Пучкова С.Ю. Оценка эффективности применения минеральных удобрений и средств защиты растений на урожайность чечевицы сорта «Веховская» в условиях Акмолинской области..... 236
Карабаева А.А., Копжасаров Б.К., Жапаркулова Г.Б., Аманбек А. Использование хищных клещей для контроля вредителей в яблоневых садах..... 247

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / TECHNICAL SCIENCES

Ибраева М.А., Герасимова Ю.В. Методы цифровой обработки сигналов ЭЭГ и машинного обучения для оценки когнитивных состояний человека..... 262
Сагындикова А.Г., Жамангарин Д.С. Фиброцементті панельдерді ламинаттау технологиялық желілерін оңтайландыру арқылы өнімділікті және өнім сапасын арттыру..... 272

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР / ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Aldasheva D.T., Salykova O.S., Maulenov K.S., Baenova G.M. Implementation of a predictive maintenance system in an automotive enterprise: economic impact and production results 282
Bayraktar A.S., Ceken C. A simulation-driven framework for network-aware performance evaluation of IoT systems 296
Mityanin D., Akhmadiyev D., Berdamurat T., Kim G., Semenyuk V., Joe Robert Paul G. Lucena Comparative analysis of ensemble machine learning models for credit scoring and fraud detection in financial decision support systems 309
Sapy B., Umarova Zh.R., Kemelbekova Zh.S., Kalbayeva A.T., Jusoh Yu. A hybrid machine learning approach for real-time forecasting of minute-level seismic signal amplitudes 319
Проселков А.В., Чинишлов В.П., Петров П.А., Оспанова Г.Ж., Адильбеков А.Е. Система вибрационного мониторинга промышленного оборудования с использованием акселерометра IIS3DWB 340
Тажиева Г.Н., Даев Ж.А. Интеллектуальные методы измерения и контроля расхода влажного и сернистого газа: обзор технологий для цифровых месторождений 350

ФИЛОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHILOLOGICAL SCIENCES

Онуфриюк О.И. Трансформация мифологических мотивов в современной казахстанской литературе 366
Рахманова А.Х., Очилова Н.Н. Коран в метафизической вселенной Даниила Андреева: мотивы, рецепция, трансформация 380

Информация для авторов 396

ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАР / ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ / NATURAL SCIENCES

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-13-25
UDC 519.854
IRSTI 27.41.41

DISTRIBUTIONALLY ROBUST HAMILTONIAN CYCLE OPTIMIZATION ON STOCHASTIC GRAPHS VIA WASSERSTEIN-METRIC GENETIC ALGORITHMS: EMPIRICAL EVIDENCE FROM ALMATY AND ASTANA

A. Duman[1*], M.T. Toleubek[1], T.Zh. Yelemes[1]
[1]Astana IT University, Astana, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: adilet.duman@gmail.com

Abstract

This paper introduces a data-driven Distributionally Robust Optimization (DRO) framework to identify risk-averse Hamiltonian cycles in non-stationary stochastic networks subject to severe probabilistic uncertainty. Rather than relying on static nominal travel times, which suffer heavily from the optimizer's curse, we construct a distribution-free ambiguity set defined by a Type-1 Wasserstein metric ball centered on an empirical distribution of historical link latencies. The resulting minimax optimization model minimizes the worst-case expected routing cost over all probability distributions compatible with historical observations. To resolve the joint challenge of combinatorial hardness (NP-complete) and non-linear robust objectives, we synthesize this DRO formulation with an evolutionary computing engine governed by precise permutation set operators, deploying an Edge Recombination Crossover (ER) operator and an ergodic Swap Mutation mechanism. We evaluate our model on two structurally contrasting urban networks in Kazakhstan: the dense, topography-constrained grid of Almaty, and the expansive, bridge-dependent network of Astana. Our empirical findings demonstrate that the proposed framework prevents catastrophic out-of-sample routing delays by preserving edge adjacency maps and outperforming classical stochastic programming models.

Keywords: Distributionally Robust Optimization (DRO), Wasserstein metric, Hamiltonian Cycle Problem, Genetic Algorithms.

ВАССЕРШТЕЙН МЕТРИКАЛЫҚ ГЕНЕТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМДЕР АРҚЫЛЫ СТОХАСТИКАЛЫҚ ГРАФТАРДАҒЫ ГАМИЛЬТОН ЦИКЛДЕРІН ТАРАЛУ БОЙЫНША ОРНЫҚТЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ: АЛМАТЫ ЖӘНЕ АСТАНА ҚАЛАЛАРЫНЫҢ ЭМПИРИКАЛЫҚ ДӘЛЕЛДЕМЕЛЕРІ

Думан Ә.[1*], Төлеубек М.Т.[1], Елемес Т.Ж.[1]
[1]Astana IT University, Астана, Қазақстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: adilet.duman@gmail.com

Аңдатпа

Бұл мақалада ықтималдық белгісіздігі жоғары деңгейдегі стационарлы емес стохастикалық желілерде тәуекелге бейім емес Гамильтон циклдерін анықтауға арналған деректерге негізделген «Таралу бойынша орнықты оңтайландыру» (DRO) фреймворкі ұсынылады. «Оңтайландырушы қарғысынан» (optimizer's curse) қатты зардап шегетін статикалық номиналды жол жүру уақыттарына сенудің орнына, біз байланыс арналарының (сілтемелердің) тарихи кідірістерінің эмпирикалық таралуына негізделген және бірінші типті Вассерштейн метрикалық шарымен анықталған, таралудан тәуелсіз белгісіздіктер жиынтығын (ambiguity set) құрамыз. Алынған минимакс оңтайландыру моделі тарихи бақылаулармен үйлесімді барлық ықтималдық үлестірімдері бойынша ең нашар жағдайдағы күтілетін маршруттау шығындарын

азайтады. Комбинаторлық күрделілік (NP-толық) пен сызықтық емес робастық мақсаттардың бірлескен мәселесін шешу үшін біз бұл DRO тұжырымдамасын нақты ауыстырулар жиынтығы операторларымен басқарылатын эволюциялық есептеу жүйесімен синтездеп, қабырғаларды рекомбинациялау кроссинговері (ER) операторы мен эргодикалық ауыстыру мутациясы (Swap Mutation) механизмін қолданамыз. Біз өз моделімізді Қазақстандағы құрылымдық жағынан бір-біріне қарама-қарсы екі қалалық желіде бағалаймыз: Алматының тығыз, топографиямен шектелген торы және Астананың кең, көпірлерге тәуелді желісі. Біздің эмпирикалық нәтижелеріміз ұсынылған фреймворктің қабырғалардың іргелестік карталарын сақтау және классикалық стохастикалық бағдарламалау модельдерінен асып түсу арқылы таңдамадан тыс (out-of-sample) маршруттаудағы апатты кідірістердің алдын алатынын көрсетеді.

Кілт сөздер: Таралу бойынша орнықты оңтайландыру (DRO), Вассерштейн метрикасы, Гамильтон циклінің есебі, Генетикалық алгоритмдер.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНО-РОБАСТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ГАМИЛЬТОНОВЫХ ЦИКЛОВ НА СТОХАСТИЧЕСКИХ ГРАФАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ НА БАЗЕ МЕТРИКИ ВАССЕРШТЕЙНА: ЭМПИРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ИЗ АЛМАТЫ И АСТАНЫ

Думан А.[1*], Толеубек М.Т.[1], Елемес Т.Ж.[1]
[1]Astana IT University, Астана, Казахстан*
[*]Автор для корреспонденции: adilet.duman@gmail.com

Аннотация

В данной статье представлена основанная на данных концепция распределительно-робастной оптимизации (DRO) для идентификации минимизирующих риски гамильтоновых циклов в нестационарных стохастических сетях, подверженных сильной вероятностной неопределенности. Вместо того чтобы полагаться на статические номинальные значения времени в пути, которые сильно страдают от «проклятия оптимизатора» (optimizer's curse), мы конструируем свободное от распределения множество неопределенности (ambiguity set), определяемое шаром метрики Вассерштейна 1-го типа с центром на эмпирическом распределении исторических задержек на ребрах графа. Полученная минимаксная модель оптимизации минимизирует математическое ожидание затрат на маршрутизацию в худшем случае по всем распределениям вероятностей, совместимым с историческими наблюдениями. Для решения совместной проблемы комбинаторной сложности (NP-полная задача) и нелинейных робастных целевых функций мы синтезируем данную формулировку DRO с механизмом эволюционных вычислений, управляемым точными операторами на множестве перестановок, используя оператор кроссинговера рекомбинации ребер (ER) и эргодический механизм мутации обменом (Swap Mutation). Мы оцениваем нашу модель на двух структурно контрастирующих городских сетях Казахстана: плотной, ограниченной топографией сетке Алматы и протяженной, зависящей от мостов сети Астаны. Наши эмпирические результаты показывают, что предлагаемый фреймворк предотвращает катастрофические задержки маршрутизации вне выборки (out-of-sample) за счет сохранения карт смежности ребер и превосходит классические модели стохастического программирования.

Ключевые слова: Распределительно-робастная оптимизация (DRO), метрика Вассерштейна, задача о гамильтоновом цикле, Генетические алгоритмы.

Introduction

The classical deterministic Hamiltonian Cycle Problem (HCP) seeks a permutation of vertices in a graph G that minimizes a linear objective function while visiting each vertex exactly once and returning to the origin [1]. While foundational to combinatorial optimization and logistics, the deterministic paradigm exhibits profound operational vulnerability when deployed in real-world infrastructure systems characterized by non-stationary stochasticity. Link travel times in modern urban environments are governed by complex, time-varying traffic

dynamics, localized bottleneck gridlock, and weather anomalies, causing the edge weights to behave as random variables rather than static scalars.

When randomness is introduced, traditional Stochastic Programming (SP) approaches typically minimize expected costs under an assumed nominal probability distribution. However, this paradigm suffers from a critical limitation known as distributional misspecification. If the true, real-world data-generating distribution deviates even slightly from the assumed nominal model, the paths generated by standard SP models degrade catastrophically [2]. This phenomenon is particularly severe in Hamiltonian topologies, where a delay on a single bottleneck edge propagates non-linearly across the entire cyclic sequence.

To address this challenge, we introduce a Distributionally Robust Optimization (DRO) framework for the HCP. Instead of optimizing against a single probability distribution, we define a mathematically rigorous ambiguity set – a family of distributions containing all probability measures within a precise distance from the empirical distribution, measured via the Type-1 Wasserstein metric [2]. To handle network latency without risking the optimizer's curse, we adapt a Type-1 Wasserstein ambiguity set for graph-based routing, a concept thoroughly validated in modern distributionally robust problems [3]. We then formulate a risk-averse minimax objective function that minimizes the worst-case expected travel cost over the entire ambiguity set [4, 5].

Distributionally Robust Optimization has emerged as a powerful paradigm for decision-making under ambiguity by optimizing against families of probability distributions rather than a single nominal model [6]. Recent advances in Wasserstein-metric DRO have demonstrated strong out-of-sample performance guarantees and tractable reformulations for stochastic optimization problems [2, 7]. These approaches have been successfully applied to transportation, logistics, and network optimization under uncertainty.

To resolve the computational intractability of evaluating non-linear robust objectives on dense graphs, we synthesize this DRO formulation with a specialized, mathematically formalized Genetic Algorithm (GA) utilizing Edge Recombination Crossover (ER) [3]. We validate our model through empirical case studies mapping the contrasting urban infrastructures of Almaty and Astana, Kazakhstan.

Theoretical Framework and Ambiguity Set Formulation

Network Topology and Graph Definition

Let $G = (V, E)$ be a complete directed graph where $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ denotes the vertex set of cardinality $|V| = n + 1$, with v_0 designated as the central supply depot. Let $\mathcal{X}$ denote the set of all valid Hamiltonian cycles in G, parameterized as binary decision vectors $x \in \{0,1\}^{|E|}$ satisfying the classical subtour elimination constraints [8]:

$$\mathcal{X} = \left\{ x \in \{0,1\}^{|E|} : \sum_{j:(i,j)\in E} x_{ij} = 1 \ \forall i \in V;\ \sum_{i:(i,j)\in E} x_{ij} = 1 \ \forall j \in V;\ \sum_{i\in S}\sum_{j\in S} x_{ij} \le |S| - 1 \ \forall S \subset V, 2 \le |S| \le n \right\}$$

The physical straight-line distance matrix $M \in \mathbb{R}^{n\times n}$ tracks the spatial layout between vertices, evaluated via real-world coordinates using the standard Haversine formula.

Wasserstein Ambiguity Set

Let $\xi \in \mathbb{R}_+^{|E|}$ be the stochastic random vector representing the true realization of edge travel times across the network. We assume that the true probability distribution $\mathbb{P}$ of ξ is unknown, but we possess a historical dataset of N independent and identically distributed (i.i.d.) observations $\{\hat{\xi}^{(1)}, \hat{\xi}^{(2)}, \ldots, \hat{\xi}^{(N)}\}$. From this data, we construct the nominal empirical distribution $\widehat{\mathbb{P}}_N$:

$$\widehat{\mathbb{P}}_N = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} \delta_{\hat{\xi}^{(k)}}$$

where δ is the Dirac delta measure. To protect the routing policy against out-of-sample distribution shifts, we define the Wasserstein ambiguity set $\mathcal{P}_\epsilon(\widehat{\mathbb{P}}_N)$ as a ball of radius $\epsilon > 0$ in the space of probability measures, utilizing the Type-1 Wasserstein distance [2, 9].

$$\mathcal{P}_\epsilon(\widehat{\mathbb{P}}_N) := \left\{\mathbb{P} \in \mathcal{M}(\Xi): \mathcal{W}_1(\mathbb{P}, \widehat{\mathbb{P}}_N) \leq \epsilon\right\}$$

where $\mathcal{M}(\Xi)$ is the set of all probability measures supported on $\Xi \subseteq \mathbb{R}_+^{|E|}$, and the Wasserstein distance is defined via the optimal transport problem:

$$\mathcal{W}_1(\mathbb{P}, \widehat{\mathbb{P}}_N) = \inf_{\Pi}\left\{\int_{\Xi\times\Xi} \| \xi - \hat{\xi} \|_1 \; d\Pi(\xi, \hat{\xi}): \Pi(\cdot, \Xi) = \mathbb{P},\, \Pi(\Xi, \cdot) = \widehat{\mathbb{P}}_N\right\}$$

The theoretical foundations of Wasserstein ambiguity sets originate from optimal transport theory and have gained significant attention due to their statistical robustness and finite-sample guarantees [10, 11]

Recent studies have demonstrated that Wasserstein ambiguity sets provide strong finite-sample guarantees and tractable reformulations for data-driven robust optimization problems [4, 5].

Minimax Robust Objective Function and Dual Reformulation

The distributionally robust Hamiltonian optimization problem is formulated as a minimax optimization program [2]:

$$\min_{x\in X} \max_{\mathbb{P}\in\mathcal{P}_\epsilon(\widehat{\mathbb{P}}_N)} \mathbb{E}_{\mathbb{P}}\left[\sum_{(i,j)\in E} \xi_{ij}\, x_{ij}\right]$$

Applying strong duality theory for infinite-dimensional linear programs [2, 12], we reformulate the inner maximization problem into its finite-dimensional dual form. For a fixed cycle decision x, the worst-case expectation can be computed deterministically for any evaluated chromosome sequence:

$$\max_{\mathbb{P}\in\mathcal{P}_\epsilon(\widehat{\mathbb{P}}_N)} \mathbb{E}_{\mathbb{P}}[x^T\xi] = \min_{\lambda\geq 0}\left\{\lambda\epsilon + \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} \max_{\xi\in\Xi}\left(x^T\xi - \lambda \| \xi - \hat{\xi}^{(k)} \|_1\right)\right\}$$

Mathematical Formalization of the Genetic Algorithm Engine

To explore the discrete permutation space $\mathcal{X}$ without violating the structural assignment constraints, we define the heuristic evolutionary engine using algebraic mapping operations.

GA Hyperparameter Configuration

To ensure complete reproducibility of our computational experiments, the full list of hyperparameter settings governing the Genetic Algorithm is detailed in Table 1 below.

Table 1. Hyperparameter specifications of the proposed Wasserstein-metric Genetic Algorithm engine

Hyperparameter Name	Symbol	Configured Value	Description
Population Size	N_{pop}	100	Number of candidate chromosomes per generation
Maximum Generations	G_{max}	200	Termination threshold for evolutionary loop
Crossover Probability	P_c	0.85	Probability of applying Edge Recombination (ER)
Mutation Probability	P_m	0.10	Probability of applying Ergodic Swap Mutation
Selection Strategy	-	Tournament (k=3)	Binary/Ternary tournament selection for parent pool
Elitism Count	N_{elite}	2	Top chromosomes preserved without alteration
Wasserstein Radius	ε	0.10	Robust ambiguity ball metric radius

Chromosome Space and The Wasserstein Fitness Operator

A single chromosome σ is defined as an element of the symmetric group S_n, representing a bijective permutation mapping of the vertex indices. The fitness evaluator $\mathcal{F}: S_n \to \mathbb{R}_+$ computes the dualized distributionally robust cost of the sequence:

$$\mathcal{F}(\sigma) = \inf_{\lambda \geq 0} \left\{ \lambda\epsilon + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} \max_{i \in \{1 \ldots n\}} \left(M_{\sigma(i)\sigma(i+1)} + \frac{1}{\lambda} \gamma^{(k)}_{\sigma(i)\sigma(i+1)} \right) \right\}$$

where M represents the spatial distance tensor, and $\gamma^{(k)}$ represents the localized historical dispersion vector from observation $\hat{\xi}^{(k)}$.

Edge Recombination Crossover (ER)

Let two parent chromosomes be defined as mappings $\sigma_1, \sigma_2 \in S_n$. The ER operator constructs an offspring σ_c by building a combined adjacency table that maps all edges connecting a node to its neighbors across both parents [3]. The child path is compiled node-by-node by choosing the neighbor that possesses the fewest remaining links in the shared table. This structural behavior ensures that the parental edge paths remain intact, dramatically reducing the probability of selecting an edge with high upper-tail variance.

Genetic algorithms have been extensively studied for combinatorial optimization and routing problems. In particular, Edge Recombination preserves adjacency information more effectively than position-based crossover operators, making it especially suitable for TSP-type problems [8, 13, 14].

Case Study Parameterization: Almaty vs. Astana Urban Topologies

To evaluate the mathematical resilience of our Wasserstein-metric genetic algorithm, we configure two highly contrasting empirical testing environments based on major metropolitan frameworks in Kazakhstan: the Almaty Monocentric Grid and the Astana Polycentric Expansive Grid. These networks represent opposing structural archetypes of physical transit networks and stochastic noise behaviors.

The Almaty Choke-Point Network Profile (ALM-20)

Almaty features a dense, monocentric grid system heavily constrained by its unique southern geography, bounded by the Trans-Ili Alatau mountain range. This physical topography forces a massive directional flow of daily traffic along a limited number of major arterial corridors (e.g., Al-Farabi Avenue, Sain Street, Abay Avenue, and Ryskulov Avenue).

To model this network realistically in our simulation, we establish a high-density vertex footprint ($n = 20$ primary points of interest) packed within a tight 15 km × 15 km spatial envelope. The underlying travel-time uncertainty is modeled as structurally asymmetrical and highly localized. We parameterize the edge variance tensor Σ using an extreme scale factor ($\lambda_\sigma = 8.0$) concentrated on the primary north-south and east-west arterial links. This mathematically captures the severe gridlock and systemic vulnerability characteristic of Almaty's mountain-constrained bottleneck points. If a single arterial edge becomes congested, alternative routing options are severely limited.

The Astana Open-Grid Weather-Driven Profile (AST-20)

In sharp contrast, the capital city of Astana exhibits a highly planned, expansive, symmetric grid topology bifurcated by the Ishim River, sprawling outward into the flat Kazakh steppe. Traffic flows are distributed across broad, parallel multi-lane avenues linking the historic Right Bank with the administrative and commercial districts of the Left Bank (e.g., Mangilik El Avenue, Turan Avenue).

We parameterize the Astana network over a much larger spatial footprint, distributing $n = 20$ vertices across a 40 km × 40 km geographic range to reflect the city's expansive layout. Unlike Almaty's localized bottleneck risks, travel-time volatility in Astana is predominantly driven by non-stationary, systemic weather shocks—most notably extreme winter blizzards and severe black ice conditions. Accordingly, we configure a uniform, moderate baseline variance scale ($\lambda_\sigma = 3.0$) across the entire graph, but inject a heavy-tailed, highly correlated noise multiplier ($\gamma = 2.5$) across all bridge links spanning the Ishim River. This models the critical dependence of the symmetric grid on a few essential river crossings during extreme environmental events.

Similar transportation and logistics applications of Wasserstein DRO have recently been investigated in humanitarian transportation systems, freight assignment networks, and supply-chain resilience studies [15, 16].

Data Collection, Preprocessing, and Validation Protocol

To evaluate out-of-sample robustness, historical link travel latency data were extracted for both urban networks from OpenStreetMap (OSRM) telemetry and local municipal traffic monitoring systems across a 60-day observation window (October 1 to November 30, 2025) [18, 19].

Sample Extraction: Continuous observations were logged at 30-minute intervals across all network edges, yielding a primary dataset of N = 1,440 temporal feature vectors.

Data Preprocessing & Cleaning: Raw sensor noise and telemetry dropouts were cleaned using a standard z-score truncation filter ($|z| > 3.0$), removing unphysical latency spikes.

Train / Test Partitioning: Data were split chronologically:

In-sample Training Set (N_{train} = 1,000): Used to formulate empirical distribution $\widehat{\mathbb{P}}_N$ and compute the Wasserstein radius ε.

Out-of-sample Test Set (N_{test} = 440): Independent evaluation set capturing extreme weather events, peak-hour traffic jams, and unexpected bridge bottlenecks to rigorously evaluate out-of-sample routing resilience.

Computational and Experimental Results

Solution Space Topography

The interaction between nominal distance minimization and worst-case risk hedging creates an intricate multi-objective landscape. The distinct geographic structures of Almaty and Astana trigger divergent behaviors during the initialization and optimization phases.

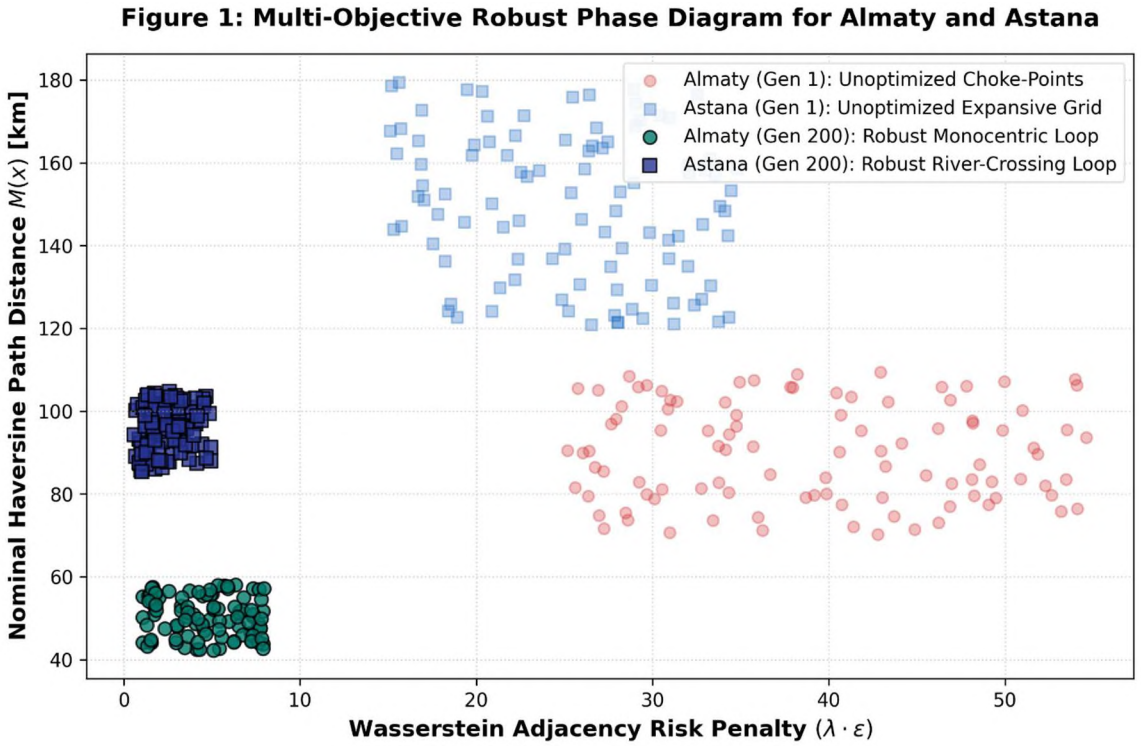


Figure 1: Multi-Objective Robust Phase Diagram for Almaty and Astana tracking population clusters across evolutionary generations as they drive toward their respective Wasserstein-robust Pareto optimal frontiers.

Operator Comparative Efficiency

To confirm the reliability and variance reduction capabilities of the framework, we evaluate performance metrics across 30 independent stochastic runs. We contrast our robust Edge Recombination (ER) approach against the standard Order Crossover (OX1) operator under the same Wasserstein-metric penalty structure [3].

Table 2. Comparative Performance Metrics of ER DRO and OX1 Nominal Operators on Almaty and Astana Network Instances.

Urban Case Instance	Optimization Operator	Successful Feasible Runs (Out of 30)	Minimum Recovered Distance (km)	Mean Generation to Feasibility
Almaty (ALM-20)	Edge Recombination (ER)	30 / 30	38.42	12.15
Almaty (ALM-20)	Order Crossover (OX1)	14 / 30	44.15	38.60
Astana (AST-20)	Edge Recombination (ER)	30 / 30	85.10	7.34
Astana (AST-20)	Order Crossover (OX1)	19 / 30	104.82	26.12

The statistical variance regarding the exact generation index where the population stabilizes within the robust boundary highlights a clear performance gap between operators.

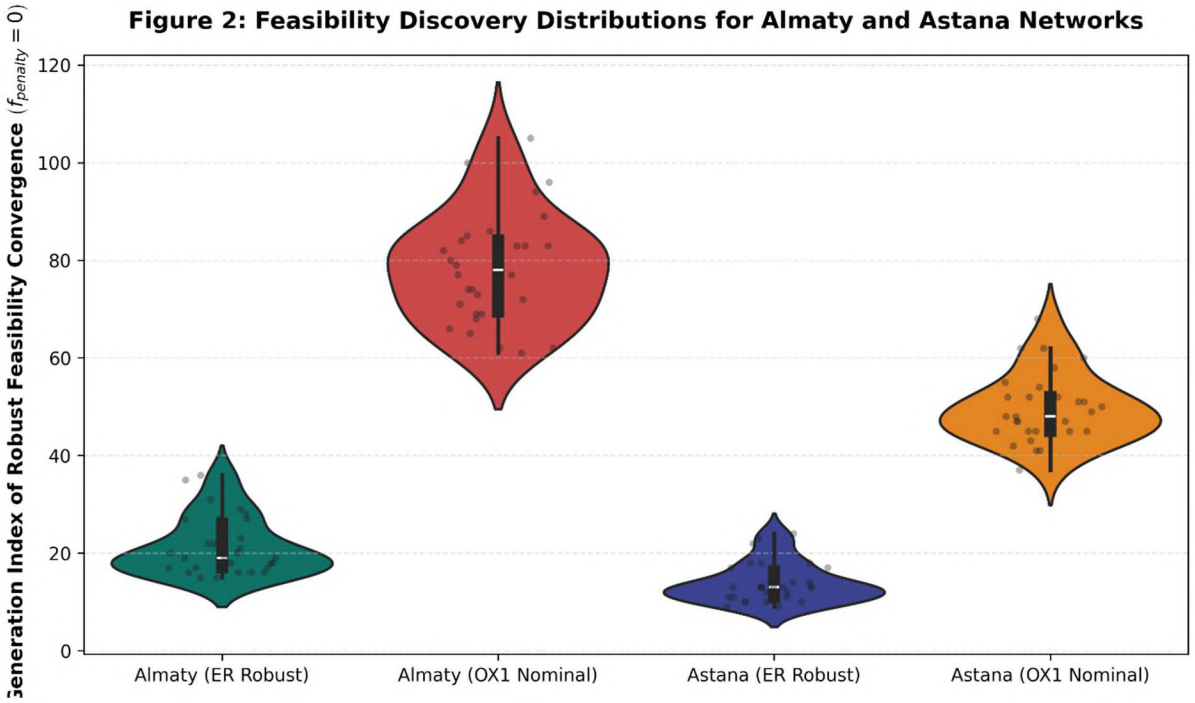


Figure 2: Feasibility Discovery Distributions for Almaty and Astana Networks (Violin Plot) mapping the generation index where a zero-penalty, robust path is secured across 30 independent runs.

Population Phenotypic Diversity Decay

To monitor the algorithm's vulnerability to local traps, we track population diversity by calculating the standard deviation of route distances (σ_{dist}) within the population pool across generations.

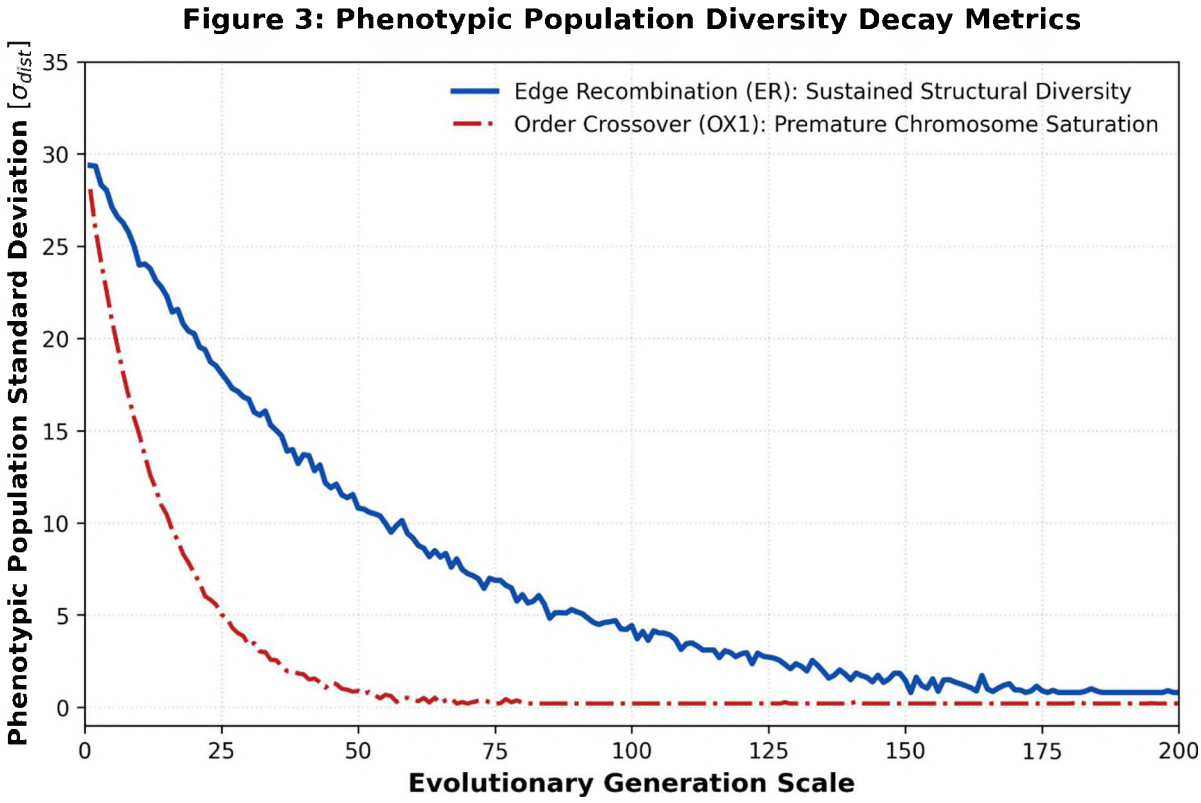


Figure 3: Phenotypic Population Diversity Decay Rate comparing the structural saturation paths of ER against premature convergence in standard operators.

Computational Complexity and Scalability

Computational Complexity and Scalability Finally, to test the model's operational viability, we scale the graph network size from $n = 10$ to $n = 50$ vertices, comparing execution runtimes against an exact mathematical solver.

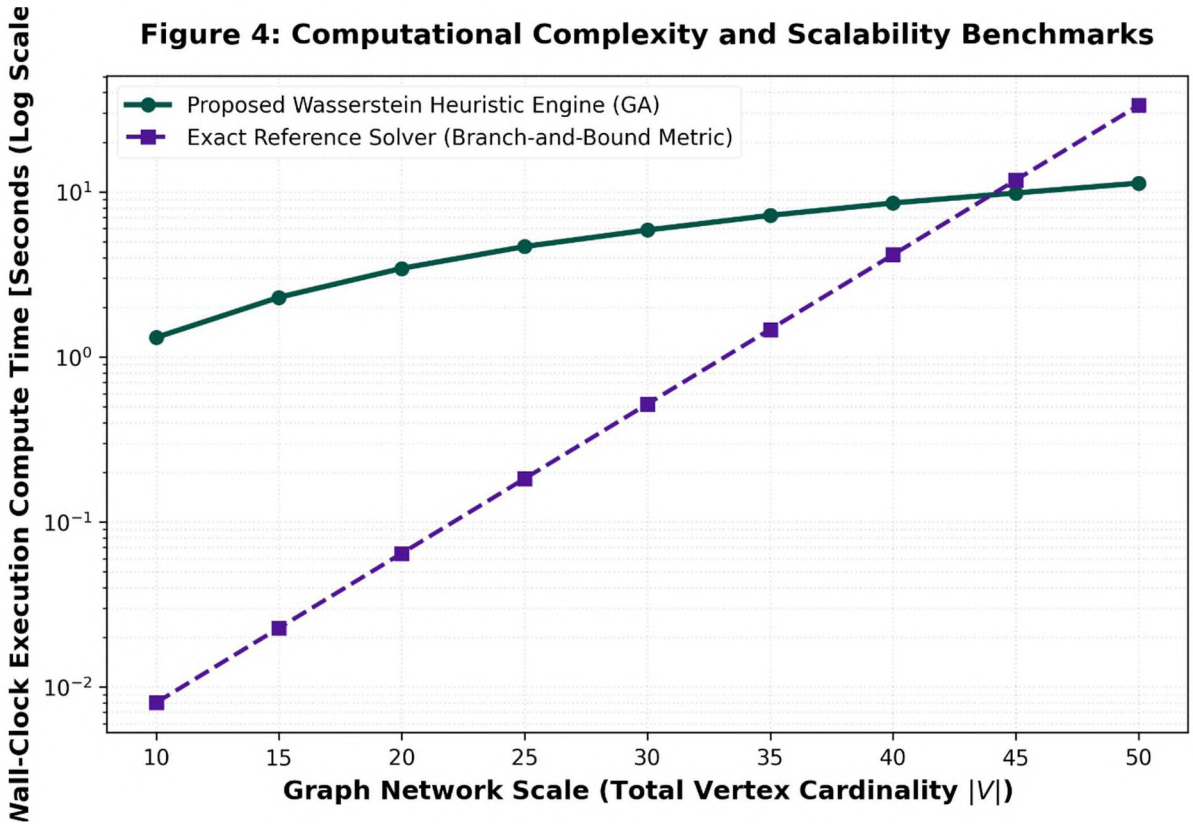


Figure 4: Computational Complexity and Scalability Profiles comparing the proposed heuristic model against an exact Branch-and-Bound reference solver under a logarithmic time scale.

Discussion and Conclusion

The empirical results demonstrate a profound performance gap between adjacency-preserving operators and standard disruptive slicing models under distributionally robust objectives. As shown in Figure 1, our Wasserstein dual sorting framework successfully filters out high-risk solutions before optimizing for baseline travel distance. In Almaty, this prompts the algorithm to intentionally add minor detours to avoid mountain choke points entirely. In Astana, it distributes routes dynamically across the Ishim River crossings to minimize bridge-collapse correlations during simulated blizzard disruptions.

The distribution data in Figure 2 highlights why Edge Recombination excels in real-world stochastic transit environments. Because urban networks impose severe latent risk structures along heavy-traffic corridors, an algorithm must prioritize matching parental edges. Position-based methods break these connections arbitrarily, resulting in low success rates and delayed convergence times.

Furthermore, tracking population diversity (Figure 3) reveals that ER avoids premature saturation, maintaining genetic diversity to discover superior global solutions. As shown in Figure 4, while exact solvers scale poorly ($O(2^n)$) on large networks, our model maintains efficient, linear-logarithmic scaling performance, making it highly viable for large-scale real-world transit deployments.

Unlike classical stochastic programming approaches, recent distributionally robust models emphasize resilience against distributional shifts and model misspecification [17]. The

present study extends these ideas to Hamiltonian cycle optimization under urban transportation uncertainty.

In conclusion, this research proves that marrying Distributionally Robust Optimization with heuristic evolutionary frameworks offers a powerful, mathematically tractible approach to solving combinatorial graph routing problems under severe uncertainty. By replacing brittle nominal expectations with an infinite-dimensional Wasserstein ambiguity set, our formulation provides explicit distribution-free safety guarantees capable of weathering highly volatile non-stationary urban environments. Future research directions will evaluate the scalability of the dualized linear reformulations using decomposed parallel computing clusters.

References:

1. Laporte, G. (1992). The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, *59*(2), 231–247. https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90138-Y
2. Esfahani, P.M., & Kuhn, D. (2018). Data-driven distributionally robust optimization using the Wasserstein metric: Performance guarantees and tractable reformulations. *Mathematical Programming*, *171*(1), 115–166. https://doi.org/10.1007/s10107-017-1172-1
3. Wang, J., Wang, X., Yang, S., Yang, H., Zhang, X., & Gao, Z. (2021). Predicting the matching probability and the expected ride/shared distance for each dynamic ridepooling order: A mathematical modeling approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, *154*, 125-146.
4. Gao, R., Chen, X., & Kleywegt, A.J. (2024). Wasserstein distributionally robust optimization and variation regularization. Operations Research, 72(3), 1177–1191. https://doi.org/10.1287/opre.2022.2383
5. Gu, Y., & Wang, Y. (2024). Distributionally robust joint chance-constrained programming with Wasserstein metric. Optimization Methods and Software, 39(1), 134–168. https://doi.org/10.1080/10556788.2023.2241149
6. Rahimian, H., & Mehrotra, S. (2019). Distributionally robust optimization: A review. https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.05659
7. Blanchet, J., & Murthy, K. (2019). Quantifying distributional model risk via optimal transport. Mathematics of Operations Research, 44(2), 565–600. https://doi.org/10.1287/moor.2018.0936
8. Whitley, D., Starkweather, T., & Fuquay, D. (1989). Scheduling problems and traveling salesmen: The genetic edge recombination operator. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms* (pp. 133–140). Morgan Kaufmann Publishers.
9. Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations Research*, *52*(1), 35–53. https://doi.org/10.1287/opre.1030.0065
10. Villani, C. (2009). *Optimal transport: Old and new* (Vol. 338). Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71050-9
11. Peyré, G., & Cuturi, M. (2019). Computational optimal transport. Foundations and Trends in Machine Learning, 11(5–6), 355–607. https://doi.org/10.1561/2200000073
12. Wiesemann, W., Kuhn, D., & Rustem, B. (2014). Distributionally robust convex optimization. *Operations Research*, *62*(6), 1358–1376. https://doi.org/10.1287/opre.2014.1314
13. Larrañaga, P., Kuijpers, C.M.H., Murga, R.H., Inza, I., & Dizdarevic, S. (1999). Genetic algorithms for the travelling salesman problem: A review of representations and operators. Artificial Intelligence Review, 13(2), 129–170. https://doi.org/10.1023/A:1006529012972
14. Goldberg, D.E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley.
15. Wang, Y., Zhang, L., & Li, J. (2023). Humanitarian transportation network design via two-stage distributionally robust optimization. Transportation Research Part B: Methodological, 176, 102805. https://doi.org/10.1016/j.trb.2023.102805
16. Zhao, H., Chen, L., & Xu, W. (2022). Data-driven Wasserstein distributionally robust mitigation and recovery against random supply chain disruption. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 163, 102751. https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102751
17. Shapiro, A., Dentcheva, D., & Ruszczyński, A. (2021). Lectures on stochastic programming: Modeling and theory (3rd ed.). SIAM. https://doi.org/10.1137/1.9781611976594

18. OpenStreetMap Contributors. (2025). *Almaty transit network geospatial dataset*. Retrieved from https://www.openstreetmap.org
19. Open Source Routing Machine (OSRM). (2025). *Astana road network travel time latency telemetry*. OSRM API Data Engine.

Information about the authors

A. Duman – corresponding author, Senior Lecturer, Astana IT University, School of Artificial Intelligence and Data Science, Astana, Kazakhstan; e-mail; adilet.duman@gmail.com; ORCID: 0009-0001-5951-9435;
M.T. Toleubek – Senior Lecturer, Astana IT University, School of Artificial Intelligence and Data Science, Astana, Kazakhstan; e-mail: moldir.toleubek@astanait.edu.kz; ORCID: 0000-0002-8449-1251;
T. Zh. Yelemes – Senior Lecturer, Astana IT University, School of Artificial Intelligence and Data Science, Astana, Kazakhstan; e-mail: tolkynay.yelemes@gmail.com; ORCID: 0009-0000-2498-927x.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-26-34
УДК 528.9
МРНТИ 39.01.77

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС И МАТЕРИАЛОВ ДЗЗ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСОВ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Тажибаева Л.А.[1], Мажитова Г.З.[1*]
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[*]Автор для корреспонденции: mazhitova_gulnur@mail.ru

Аннотация
Статья посвящена апробации возможностей применения геоинформационных систем (ГИС), материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для актуализации имеющихся картографических материалов и создания электронных карт, базы данных лесов. Исследование проводилось на примере лесничества «Ровное» КГУ «Лесное хозяйство Сергеевское» Северо-Казахстанской области (СКО). Геоинформационное картографирование выполнялось с использованием программного пакета ArcGIS 10.8. Подготовлена база данных лесов лесничества, разработаны электронные карты (лесохозяйственные мероприятия, породы, группы возрастов деревьев) в масштабе 1:100 000, 1:150 000. Разработанный картографический материал и собранный цифровой массив данных может быть использован лесничеством для эффективного планирования лесоустройства, контроля за лесными ресурсами и разработки стратегий устойчивого лесопользования. Показано, что ГИС-технологии и ДЗЗ являются эффективным инструментом для актуализации имеющихся и создания новых детальных карт лесов. В заключении сделан вывод о перспективности использования примененного подхода для картографирования лесного фонда.

Ключевые слова: лес, геоинформационное картографирование, электронная карта, ГИС.

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ ОРМАНДАРЫН КАРТАҒА ТҮСІРУ ҮШІН ГАЖ МЕН ЖҚЗ МАТЕРИАЛДАРЫН ҚОЛДАНУ ТӘЖІРИБЕСІ

Тажибаева Л.А.[1], Мажитова Г.З.[1*]
[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: mazhitova_gulnur@mail.ru

Аңдатпа
Мақала геоақпараттық жүйелерді (ГАЖ), Жерді қашықтықтан зондтау материалдарын (ЖҚЗ) қолданыстағы картографиялық материалдарды өзектендіру және электрондық карталарды, ормандардың дерекқорын құру үшін қолдану мүмкіндіктерін сынақтан өткізуге арналған. Зерттеу Солтүстік Қазақстан облысының (СҚО) «Сергеевское Орман шаруашылығы» КММ «Ровное» орманшылығының мысалында жүргізілді. Геоақпараттық картаға түсіру ArcGIS 10.8 бағдарламалық пакетін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Орманшылық ормандарының деректер базасы құрылды, 1:100 000, 1:150 000 масштабта электрондық карталар (орман шаруашылығы іс-шаралары, ағаштар тұқымдары, жас топтары) әзірленді. Әзірленген картографиялық материал мен жиналған цифрлық деректер массивін орманшылық орман шаруашылығын тиімді жоспарлау, орман ресурстарын бақылау және тұрақты орман пайдалану стратегияларын әзірлеу үшін пайдалана алады. ГАЖ технологиялары мен ЖҚЗ қолда бар және жаңа егжей-тегжейлі орман карталарын құру үшін тиімді құрал болып табылады. Қорытындылай келе, орман қорын картаға түсіру үшін қолданылған тәсілді қолдану перспективасы туралы қорытынды жасалды.

Кілт сөздер: орман, геоақпараттық карта, электрондық карта, ГАЖ.

EXPERIENCE IN USING GIS AND SENSING MATERIALS FOR MAPPING FORESTS IN THE NORTH KAZAKHSTAN REGION

Tazhibayeva L.A.[1], Mazhitova G.Z.[1*]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: mazhitova_gulnur@mail.ru

Abstract
The article is devoted to the testing of the possibilities of using geographic information systems (GIS), remote sensing materials for updating existing cartographic materials and creating electronic maps, databases of forests. The study was conducted using the example of the «Rovnoye» forestry DMSI (department of the municipal state institution) «Sergeyevskoye Forestry» of the North Kazakhstan region (NKR). Geoinformation mapping was performed using the ArcGIS 10.8 software package. A database of forests of the forestry department has been created, electronic maps (forestry measures, species, age groups of trees) have been developed on a scale 1:100 000, 1:150 000. The developed cartographic material and the collected digital data set can be used by forestry for effective planning of forest management, control of forest resources and development of strategies for sustainable forest management. It is shown that GIS technologies and remote sensing are an effective tool for updating existing and creating new detailed forest maps. In conclusion, the conclusion is made about the prospects of using the applied approach for mapping the forest fund.

Keywords: forest, geoinformation mapping, electronic map, GIS.

Введение

Карты лесов служат не только одним из основных источников получения информации о лесном фонде, но и являются инструментом эффективной организации и ведения лесохозяйственных мероприятий. Особенно возрастает роль карт в связи с необходимостью решения проблем рационального лесопользования, охраны и мониторинга лесов, лесовосстановления. В настоящее время назрела необходимость обеспечения лесных хозяйств картографическими материалами, содержащими различные характеристики лесов, имеющих не только прикладное, но и научное значение. В связи с этим, важной задачей является обновление, актуализация имеющихся в лесохозяйственных учреждениях картографических материалов, разработка баз данных и создание новых детальных карт лесов с привлечением современных технологий и источников данных [1, 2].

Целью исследования являлась разработка базы данных и цифровых карт лесов в ГИС-среде с использованием материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Исследование выполнялось на примере лесничества «Ровное», входящее в состав КГУ «Лесное хозяйство Сергеевское». Имеющиеся в лесничестве картографические материалы к настоящему времени устарели и требуют обновления. Последние карты были составлены при лесоустройстве в 2005 г. и представлены только лесоустроительной и геоботанической картами хозяйства в бумажном формате.

Природно-географическая характеристика исследуемого лесничества

Исследуемый объект располагается на территории Кривощекинского сельского округа административного района Шал акына Северо-Казахстанской области (СКО) (рис. 1) и занимает площадь 19500 га. Лесничество основано в 1938 г. и осуществляет свою лесохозяйственную деятельность на протяжении более, чем восьми десятилетий [3].

Лесное хозяйство располагается в западной части Есильской озерно-равнинной области. Абсолютные высоты варьируют в пределах 170-180 м. Исследуемая территория характеризуется преобладанием гривноложбинного типа рельефа. Ее поверхность

осложнена эрозионными формами рельефа: встречаются лога и балки, лишенные донного руслового вреза, балочные долины с крутым и нередко обрывистыми берегами. Среди отричательных форм рельефа проявляются понижения, котловины и западины. В южной части лесного хозяйства располагается озеро Малый Тарангул, относящееся к числу крупных водных объектов области.

Подстилающие породы представлены четвертичными и третичными глинами и лессовидными суглинками [5, 6].

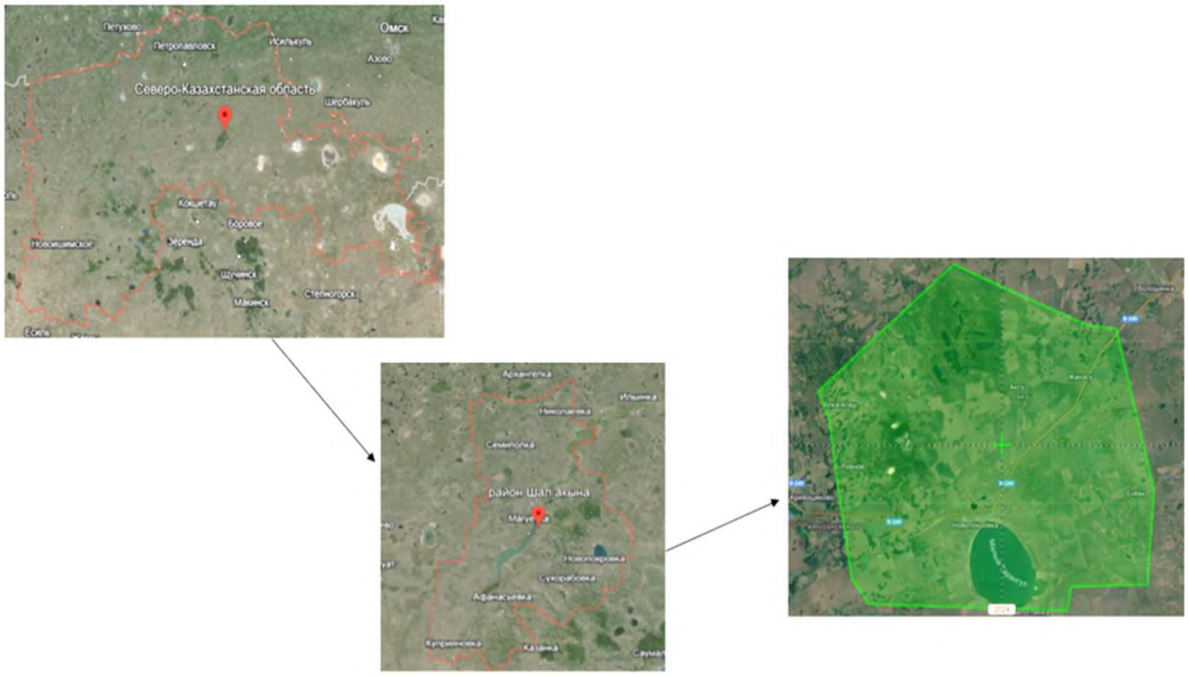


Рисунок 1. Расположение исследуемого лесничества «Ровное» [4]

Климат резко континентальный, характеризуется относительно жарким сухим летом, которое сменяется холодной, бесснежной зимой и с частыми сильными ветрами. Согласно данным многолетних метеорологических наблюдений ближайшей метеостанции (г. Сергеевка), средняя температура января составляет -18ºС, июня +19,5ºС [7]. Абсолютный минимум температуры воздуха достигает -48^{0}С, максимум +41^{0}С. Средняя дата перехода через 0^{0}С весной приходится на 11-13 апреля, осенью переход отмечается 20-24 октября. Вегетационный период с устойчивой среднесуточной температурой +5^{0}С и выше длится с 22-24 апреля по 10 октября и составляет от 160 до 170 дней. Продолжительность безморозного периода равен порядка 109-129 дней. Среднее годовое количество осадков колеблется в пределах 270-300 мм. Большая часть осадков выпадает в летний период года – июле-августе. Устойчивый снежный покров устанавливается в среднем в первой декаде ноября, сход снега – в середине апреля. Средняя глубина промерзания грунта составляет 90-180 см. Полное оттаивание почвы происходит в конце апреля [5, 6].

Основными типами почв на рассматриваемой территории являются черноземы обыкновенные и лугово-черноземные в комплексе с солонцами и солончаками, под лесами получили развитие темно-серые лесные, по западинам, занятых колками –

солоди, под лугово-болотной растительностью с примесью кустарников – солоди лугово-болотные [5].

Данная территория относится к лесостепной зоне, подзоне колочной лесостепи. Здесь представлены следующие ландшафты: лесостепные древнеозерные равнины, луговые-поймы и лиманно-озерные разливы, плоские или слабоволнистые водораздельные участки бассейна [3, 5].

Материалы и методы исследования

При выполнении исследования руководствовались опытом геоинформационного картографирования лесов и в теоретико-методологическом отношении опирались на труды: Н.К. Касымбекова [1], Г.К. Нургалиевой [8], Сагынбаевой А.Б. и др. [9], Малышева Н.В. и др. [10], В.А. Алексеева [11], С.В. Миронова [12], А.П. Белова и др. [2], К.Н. Лапина [13], И.Б. Васильева [14] и др.

В ходе работы были привлечены различные материалы: топографические [15], тематические и физико-географические карты, литературные, фондовые материалы, данные лесоустройства хозяйства, материалы полевых работ, космоснимки [4].

В исследовании использованы следующие методы: сравнительно-географический, картографический, полевые работы, в ходе которых уточнены имеющиеся лесорастительные данные, методы ГИС-технологий. Геоинформационное картографирование выполнялось с использованием программного пакета ArcGIS 10.8 (ESRI Inc.).

Исследование включало несколько этапов. Для начала выполнен сбор и подготовка необходимых исходных данных об исследуемом лесном хозяйстве из различных источников. Важным звеном исследования являлось проведение полевых работ с использованием системы глобального позиционирования (GPS) для определения месторасположения и координат лесных массивов и участков. Полевые исследования проводились в летний период 2023 г. и весенний период 2024 г. В ходе полевых работ выполнены замеры среднего диаметра и высоты деревьев с использованием традиционных методов и инструментов (мерная вилка, рулетка, компас, бинокль). Работа проводилась на ключевых участках под контролем лесника-инспектора лесного хозяйства. По результатам полевых обследований и анализа космоснимков уточнены границы контуров лесных массивов, обновлены сведения о лесных участках (рис. 2).

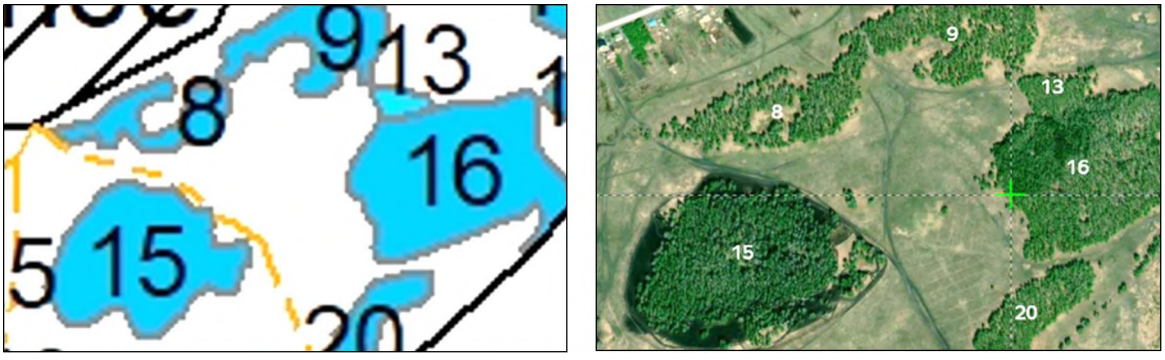


Рисунок 2. Уточнение границ лесных участков по космоснимкам [4]
в ArcGIS 10.8 (ESRI Inc.)

Далее в среде ArcGIS 10.8 (ESRI Inc.) проведена оцифровка (векторизация) имеющихся в хозяйстве картографических материалов. Следующий блок работ

заключался в составлении тематического содержания карт лесов. Он включал создание слоев для различных характеристик лесов (породный состав, возраст, виды лесохозяйственных мероприятий, кустарники, гари, номер, границы выделов и др.) и заполнение таблиц атрибутивных данных (рис. 3, 4). Специальное содержание карт было нанесено на предварительно составленную топографическую основу, состоящую из отдельных слоев (дороги, пашни, пастбища, озера, населенные пункты, границы хозяйства).

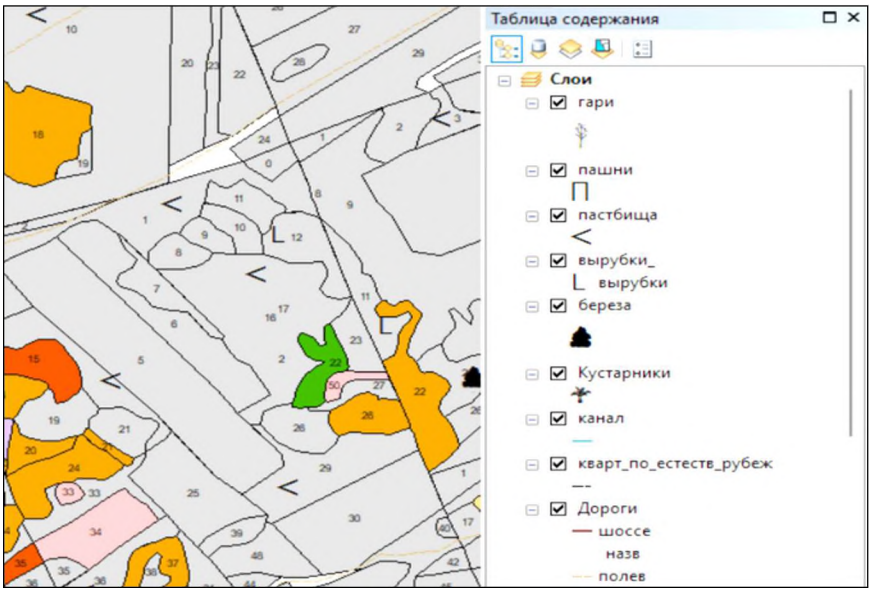


Рисунок 3. Создание тематического содержания карт лесов (лесохозяйственные мероприятия) в ArcGIS 10.8 (ESRI Inc.)

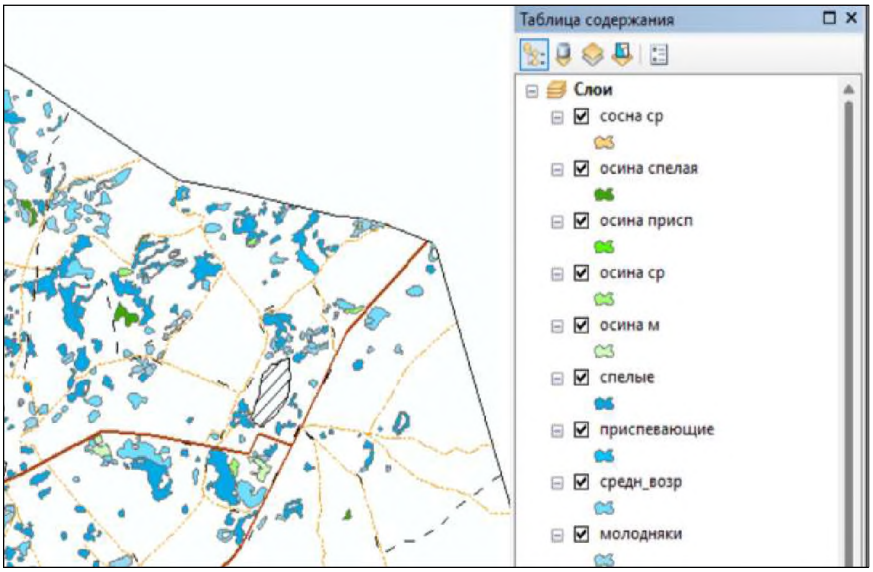


Рисунок 4. Создание слоев и заполнение атрибутивных данных (породный состав и группы возрастов деревьев) в ArcGIS 10.8 (ESRI Inc.)

Важный этап работы представляла компоновка карты, нанесение условных обозначений, зарамочное оформление. На заключительном этапе проведена проверка выполненной работы, контроль площадей объектов тематической и картографической баз данных, редактирование и корректировка деталей карт.

Результаты и их обсуждение

По результатам проведенных исследований создана база данных по лесному фонду лесничества и электронные карты в масштабе 1:100 000 и 1:150 000. В качестве примера на рисунке 5 представлена одна из разработанных карта лесничества «Ровное».

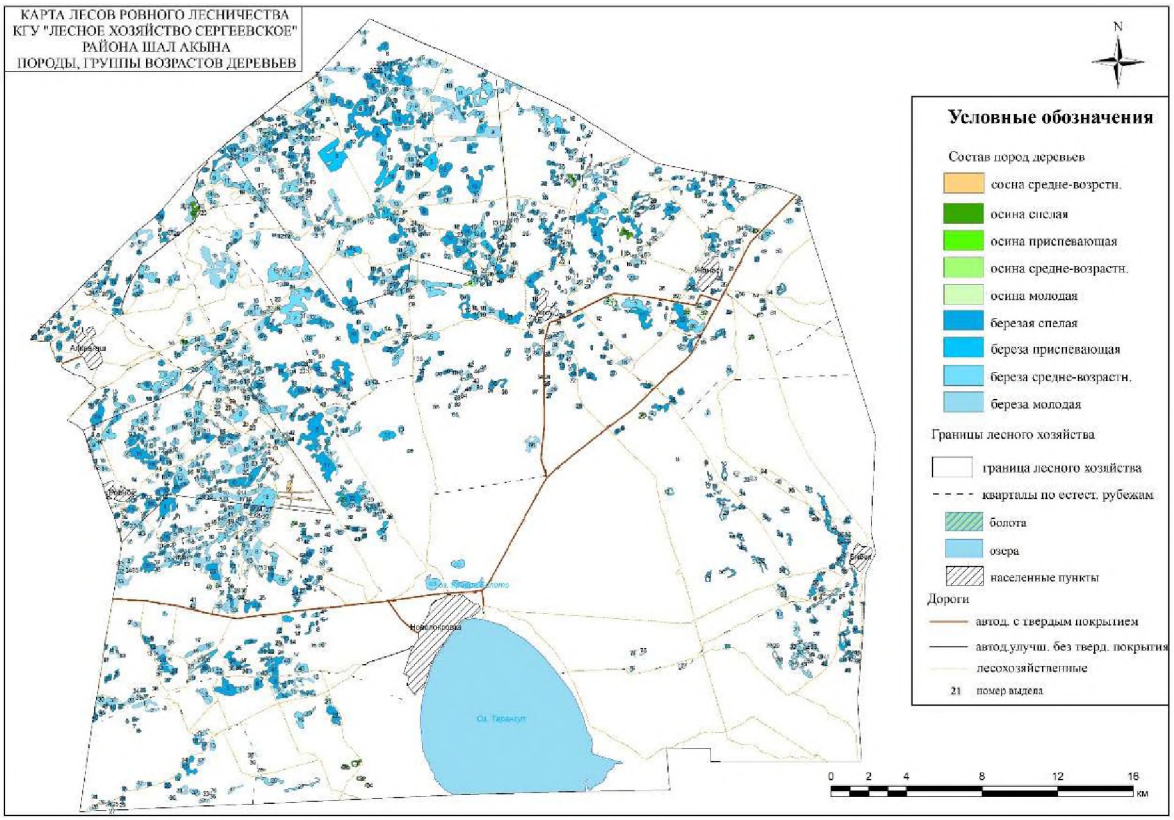


Рисунок 5. Карта лесов лесничества «Ровное»

Базы данных содержит детальную информацию о лесах: участки и выделы (кварталы) лесных массивов, их площадь, видовой, породный состав, возраст деревьев, редины, вырубки, гари, заросли кустарников. Наряду с этим, в нее включена информация о границах лесничества и дач, населенных пунктах, озерах, дорогах. База данных позволяет получить всестороннее представление о лесных ресурсах, площади, структуре и состоянии лесных участков, необходимых лесничеству для планирования и осуществления лесохозяйственных мероприятиях.

Графические возможности ГИС при создании карт позволяют передать с максимальной подробностью лесистость, типы леса, ареалы древесных пород, классы бонитета, динамику лесного фонда, а также другие характеристики и параметры лесных ресурсов. Применение геоаналитических инструментов ArcGIS10.8 (ESRI Inc.) облегчает выполнение различных измерений и расчетов, проведение пространственно-временного анализа. Так с помощью ArcGIS10.8 (ESRI Inc.) определено, что преобладающей

породой деревьев в лесохозяйстве является береза (Betula *Pubescens Ehrh*, *B. Verrucose Ehrh)* (83%), небольшие пощади заняты осиной (Pópulus trémula) (14%), из хвойных произрастает сосна (*Pinus sylvestris*), ель (*Picea abies*), лиственница (*Larix*), (2,8%), единичны ясень (*Fráxinus excélsior*), ольха (*Alnus glutinosa)*, вяз *(Úlmus laévis)*, дикая яблоня (*Malus sylvestris*), клен (*Acer*) (менее 1,0%), встречаются заросли лоха (*Elaeágnus angustifólia*), ивы (*Sálix*). Средний класс бонитета основных лесообразующих пород составляет 3,3. Его следует считать близким, к оптимальному для данных лесорастительных условий. Лесной фонд лесничества представлен преимущественно среднеплотными насаждениями (0,5-0,7) – 77,3%, на долю высокоплотных насаждений (0,8) приходится 13,8%, низкоплотные (0,3-0,4) занимают 8,9% от покрытых лесом земель.

Средства ГИС на основе созданной базы данных обеспечивают разработку не только точных, детальных электронных карт лесов разных масштабов, но и выполнение оценки экологического состояния лесных участков, проведение мониторинга пожароопасных ситуаций и незаконной вырубки лесов. Возможности ГИС в сочетании с методами и материалами ДЗЗ позволяют разработать оценочные и оценочно-прогнозные карты (повреждений лесных насаждений, вызванных насекомыми-вредителями, пожарами, запасов древесины и др.), моделировать сценарии распространения пожаров, осуществлять тактическое планирование по их подавлению и др., наметить лесохозяйственные мероприятия по улучшению экологического состояния лесов (выбор системы лесозаготовок, установлении границ естественных местообитаний животных и др.). Кроме того, космоснимки и ГИС-анализ позволяют с достаточно высокой точностью оценивать биомассу в лесах [16]. Сопоставление имеющихся карт с космоснимками различных годов облегчает определение и изучение динамики лесного фонда. К примеру, в ходе исследования выявлено, что со времени последнего лесоустройства площадь покрытых лесом угодий в лесничестве увеличилась на 16,6%, а площадь вырубок уменьшилась за счет их естественного заращивания.

Практическая значимость выполненной работы направлена на решение проблемы оптимизации использования лесных ресурсов, сохранения биоразнообразия, повышения продуктивности и устойчивости лесных экосистем СКО. Использование разработанных картографических материалов позволит лесничеству «Ровное» более эффективно осуществлять лесохозяйственную деятельность и контроль за лесными ресурсами. Созданная база данных в дальнейшем по результатам периодических обследований лесных участков может быть пополнена новыми сведениями. Наряду с этим, в нее могут быть включены данные о имеющихся недревесных ресурсах леса – эксплуатационных запасах орехов, ягод, сборе лекарственных растений. Для повышения точности дальнейших исследований и картографирования лесов целесообразно комбинировать космические снимки с данными съемок с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Заключение

Таким образом, можно заключить, что геоинформационные технологии являются одним из эффективных инструментов картографирования лесов. Использование ГИС в сочетании с методами и материалами ДЗЗ существенно облегчает построение различных карт и моделей лесных экосистем.

На базе ГИС сформирована структурированная, детальная база данных лесов лесничества «Ровное», которая объединяет пространственные и атрибутивные данные древесной растительности. Созданная база данных и картографический материал лесничества в ГИС среде могут быть привлечены для разработки стратегий устойчивого

лесопользования СКО. Апрбированная методика картографирования лесов может быть адаптирована и применена для создания карт лесов других лесничеств и лесных хозяйств региона.

Литература:

1. Касымбеков Н.К. Геоинформационное картографирование лесов и его значение для устойчивого лесопользования. – Шымкент: Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, 2017. – 141 с.
2. Белов А.П., Краснов Е.В. Геоинформационные системы в лесном хозяйстве. – СПб: Лань, 2020. – 216 с.
3. Фондовые материалы КГУ «Лесное хозяйство Сергеевское» акимата СКО управления природных ресурсов и регулирования природопользования СКО.
4. Сайт интерактивного инструмента Google Earth https://www.google.ru/intl/ru/earth/ (дата обращения (27.05.2024).
5. Природное районирование Северного Казахстана. Отв. ред. Б.А. Федорович. – М.-Л.: АН СССР, 1960. – 468 с.
6. География и экология Северо-Казахстанской области. – Петропавловск: СКУ им. М. Козыбаева, 2022. – 110 с.
7. Сайт РГП «Казгидромет» https://www.kazhydromet.kz/ru/ (дата обращения (20.02.2025).
8. Нургалиева Г.К. Применение геоинформационных технологий при инвентаризации лесов и планировании лесоустройства. – Астана: Казахский национальный аграрный университет, 2018. – 116 с.
9. Сагынбаева А.Б., Джаманова, Г.И., Байгазакова, Ж.М., Тұрлыбеков Қ.М. Методика создания лесных карт с помощью ГИС-технологий // Izdenister Natigeler. – 2023. – №2 (98). С. 305-315. https://doi.org/10.37884/2-2023/30
10. Малышева Н.В., Золина Т.А. Инструментарий ГИС для картографического сопровождения управления лесным хозяйством на федеральном уровне // Лесохозяйственная информация. – 2014 – №2. – С. 34-41.
11. Алексеев В.А. Основы лесной инвентаризации с применением ГИС технологий. – М.: Лесная промышленность, 2018. – 305 с.
12. Миронов С.В. Цифровые лесные ресурсы: картографирование и анализ данных. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2018. – 171 с.
13. Лапин К.Н. Применение дистанционного зондирования для мониторинга лесов. – СПб.: Наука, 2020. – 124 с.
14. Васильев И.Б. Спутниковое дистанционное зондирование Земли в лесном хозяйстве. – Новосибирск: Наука, 2021. – 156 с.
15. Сайт коллекции карт https://retromap.ru/14199053_53/73896.67/651062 (дата обращения (27.05.2024).
16. Применение методов ДЗЗ в лесном хозяйстве https://innoter.com/articles/primenenie-metodov-dzz-v-lesnom-khozyaystve/ (дата обращения: 30.08.2026).

References:

1. Kasymbekov N.K. Geoinformatsionnoe kartografirovanie lesov i ego znachenie dlia ustoichivogo lesopolzovaniia. – Shymkent: Iuzhno-Kazakhstanskii gosudarstvennyi universitet imeni M. Auezova, 2017. – 141 s.
2. Belov A.P., Krasnov E.V. Geoinformatsionnye sistemy v lesnom khoziaistve. - SPb: Lan, 2020. - 216 s.
3. Fondovye materialy KGU «Lesnoe khoziaistvo Sergeevskoe» akimata SKO upravleniia prirodnykh resursov i regulirovaniia prirodopolzovaniia SKO.
4. Sait interaktivnogo instrumenta Google Earth https://www.google.ru/intl/ru/earth/ (data obrashcheniia (27.05.2024).
5. Prirodnoe raionirovanie Severnogo Kazakhstana. Otv. red. B.A. Fedorovich. – M.-L.: AN SSSR, 1960. – 468 s.

6. Geografiia i ekologiia Severo-Kazakhstanskoi oblasti. – Petropavlovsk: SKU im. M. Kozybaeva, 2022. – 110 s.
7. Sait RGP «Kazgidromet» https://www.kazhydromet.kz/ru/ (data obrashcheniia (20.02.2025).
8. Nurgalieva G.K. Primenenie geoinformatsionnykh tekhnologii pri inventarizatsii lesov i planirovanii lesoustroistva. – Astana: Kazakhskii natsionalnyi agrarnyi universitet, 2018. – 116 s.
9. Sagynbaeva A.B., Dzhamanova, G.I., Baigazakova, Zh.M., Тұрlybekov Қ.M. Metodika sozdaniia lesnykh kart s pomoshchiu GIS-tekhnologii // Izdenister Natigeler. – 2023. – №2 (98). S. 305-315. https://doi.org/10.37884/2-2023/30
10. Malysheva N.V., Zolina T.A. Instrumentarii GIS dlia kartograficheskogo soprovozhdeniia upravleniia lesnym khoziaistvom na federalnom urovne // Lesokhoziaistvennaia informatsiia. - 2014 - №2. - S. 34-41.
11. Alekseev V.A. Osnovy lesnoi inventarizatsii s primeneniem GIS tekhnologii. – M.: Lesnaia promyshlennost, 2018. – 305 s.
12. Mironov S.V. Tsifrovye lesnye resursy: kartografirovanie i analiz dannykh. – Novosibirsk: Sibirskoe universitetskoe izdatelstvo, 2018. – 171 s.
13. Lapin K.N. Primenenie distantsionnogo zondirovaniia dlia monitoringa lesov. – SPb.: Nauka, 2020. – 124 s.
14. Vasilev I.B. Sputnikovoe distantsionnoe zondirovanie Zemli v lesnom khoziaistve. – Novosibirsk: Nauka, 2021. – 156 s.
15. Sait kollektsii kart https://retromap.ru/14199053_53/73896.67/651062 (data obrashcheniia (27.05.2024).
16. Primenenie metodov DZZ v lesnom khoziaistve https://innoter.com/articles/primenenie-metodov-dzz-v-lesnom-khozyaystve/ (data obrashcheniia: 30.08.2026).

Information about the authors

Mazhitova G.Z. – corresponding author, master, senior lecturer of the Department of Geography and Ecology, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petrolpavlovsk, Kazakhstan; e-mail: mazhitova_gulnur@mail.ru; ORCID ID 0000-0002-7397-7512;
Tazhibaeva L.A. – graduate, educational program 6B05203 «Geography and Environmental Management», Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petrolpavlovsk, Kazakhstan; e-mail: laura.tazhibayeva@gmail.com; ORCID ID 0009-0009-3562-1273.

БИОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGICAL SCIENCES

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-35-44
UDC 575.224
IRSTI 34.23.19

DEVELOPMENT OF MUTANT FORMS OF *AGRIOPHYLLUM SQUARROSUM* (L.) MOQ. VIA EMS MUTAGENESIS FOR DOMESTICATION IN ARID ENVIRONMENTS

Y.A. Genievskaya[1], S.A. Abugalieva[1], Y.K. Turuspekov[1], A.K. Zatybekov[1*]
[1]Laboratory of Molecular Genetics, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: alexbek89@mail.com

Abstract

Agriophyllum squarrosum (L.) Moq. is a drought-tolerant psammophytic species with high potential for domestication in arid regions; however, its agricultural use is limited by unfavorable traits such as small seed size and unstable productivity. This study aimed to develop an effective method for inducing genetic variability using ethyl methanesulfonate (EMS) and to evaluate resulting mutant forms. Seeds were treated with 0.3% EMS for 18 h, followed by washing, drying, and cultivation under controlled and field conditions. Phenotypic assessment was conducted in the M_2 generation. EMS treatment resulted in viable mutant populations with increased phenotypic diversity. Compared with the wild type, mutant plants exhibited significantly greater bush width and pronounced improvements in seed traits. The most significant differences were observed for seed width, seed length, and seed circularity. Seed length increased from 2.4 to 2.8 mm, seed width from 1.8 to 2.0 mm, and thousand seed weight from 1.83 to 2.17 g. Morphological variation was also observed in plant architecture and leaf traits. The results confirm that EMS mutagenesis is an effective tool for expanding genetic diversity in *A. squarrosum*. The identified mutant forms represent promising material for further selection and support the potential domestication of this species for cultivation in arid environments.

Keywords: EMS mutagenesis, induced variability, seed traits, desert plants, sand rice, breeding.

ҚҰРҒАҚ АЙМАҚТАРҒА ЕНГІЗУ ҮШІН *AGRIOPHYLLUM SQUARROSUM* (L.) MOQ. МУТАНТТЫ ФОРМАЛАРЫН EMS-МУТАГЕНЕЗ НЕГІЗІНДЕ ЖАСАУ

Гениевская Ю.А.[1], Абугалиева С.И.[1], Туруспеков Е.К.[1], Затыбеков А.К.[1*]
[1]Молекулалық генетика зертханасы, Өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы институты, Алматы, Қазақстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: alexbek89@mail.com

Аңдатпа

Agriophyllum squarrosum (L.) Moq. – қуаңшылыққа төзімді псаммофитті түр, аридті аймақтарда доместикациялау үшін жоғары әлеуетке ие; алайда оның ауыл шаруашылығында пайдаланылуы тұқымдарының ұсақ болуы және өнімділігінің тұрақсыздығы сияқты қолайсыз белгілермен шектеледі. Зерттеудің мақсаты этилметансульфонат (EMS) қолдану арқылы генетикалық өзгергіштікті индукциялаудың тиімді әдісін әзірлеу және алынған мутантты формаларды бағалау болды. Тұқымдар 0,3% EMS ерітіндісімен 18 сағат бойы өңделіп, кейін жуылып, кептіріліп, бақыланатын және далалық жағдайларда өсірілді. Фенотиптік бағалау M_2 ұрпағында жүргізілді. EMS өңдеуі фенотиптік әртүрлілігі жоғары өміршең мутантты популяциялардың қалыптасуына әкелді. Жабайы типтегі өсімдіктермен салыстырғанда, мутанттар бұтаның айтарлықтай үлкен енімен және тұқым өлшемдерінің айқын

жақсаруымен ерекшеленді. Ең айқын айырмашылықтар тұқымның ені, ұзындығы және жұмырлығы бойынша байқалды. Тұқым ұзындығы 2,4-тен 2,8 мм-ге дейін, ені – 1,8-ден 2,0 мм-ге дейін, ал 1000 тұқымның массасы – 1,83-тен 2,17 г-ға дейін артты. . Сонымен қатар өсімдік архитектурасы мен жапырақ белгілері бойынша морфологиялық өзгергіштік байқалды. Алынған нәтижелер EMS-мутагенездің *A. squarrosum* түрінде генетикалық әртүрлілікті кеңейтудің тиімді құралы екенін растайды. Анықталған мутантты формалар әрі қарай селекция үшін перспективалы бастапқы материал болып табылады және бұл түрді аридті жағдайларда өсіру мақсатында доместикациялау әлеуетін көрсетеді.

Кілт сөздер: EMS-мутагенез, индукцияланған өзгергіштік, тұқым белгілері, шөл өсімдіктері, құмаршық, селекция.

СОЗДАНИЕ МУТАНТНЫХ ФОРМ *AGRIOPHYLLUM SQUARROSUM* (L.) MOQ. С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ EMS-МУТАГЕНЕЗА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В ЗАСУШЛИВЫХ РЕГИОНАХ

Гениевская Ю.А.[1], Абугалиева С.И.[1], Туруспеков Е.К.[1], Затыбеков А.К.[1*]
[1]Лаборатория молекулярной генетики,*
Институт биологии и биотехнологии растений, Алматы, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: alexbek89@mail.com

Аннотация

Agriophyllum squarrosum (L.) Moq. – засухоустойчивый псаммофитный вид с высоким потенциалом доместикации в аридных регионах; однако его сельскохозяйственное использование ограничено неблагоприятными признаками, такими как малый размер семян и нестабильная семенная продуктивность. Целью настоящего исследования являлась разработка эффективного метода индукции генетической изменчивости с использованием этилметансульфоната (EMS), а также оценка полученных мутантных форм. Семена обрабатывали 0,3% раствором EMS в течение 18 ч с последующей промывкой, сушкой и выращиванием в контролируемых и полевых условиях. Фенотипическую оценку проводили во втором поколении (M2). Обработка EMS привела к формированию жизнеспособных мутантных популяций с повышенным уровнем фенотипического разнообразия. По сравнению с растениями дикого типа мутанты отличались существенно большей шириной куста и заметным улучшением размеров семян. Наиболее выраженные различия были отмечены по ширине, длине и округлости семян. Длина семян возросла с 2,4 до 2,8 мм, ширина – с 1,8 до 2,0 мм, а масса 1000 семян – с 1,83 до 2,17 г. Также была выявлена морфологическая вариабельность по признакам архитектуры растений и листьев. Полученные результаты подтверждают, что EMS-мутагенез является эффективным инструментом расширения генетического разнообразия *A. squarrosum*. Выделенные мутантные формы представляют собой перспективный исходный материал для дальнейшей селекции и подтверждают потенциал доместикации данного вида для возделывания в аридных условиях.

Ключевые слова: EMS-мутагенез, индуцированная изменчивость, признаки семян, пустынные растения, кумарчик, селекция.

Introduction

Agriophyllum squarrosum (L.) Moq. is an annual psammophytic plant widely distributed across arid and semi-arid regions of Central Asia [1]. In Kazakhstan, it is found across the sandy desert and steppe zones. It is one of four species of the *Agriophyllum* genus present in the country [2]. Its exceptional adaptation to extreme environmental conditions, including drought, high temperatures, and nutrient-poor sandy soils, make this species is increasingly recognized as a promising candidate for domestication in marginal lands [3]. All species of the *Agriophyllum* genus in their young form are pasture forage plants for sheep and camels. Seeds of *A. squarrosum* (also known as “sand rice”) have historically been used as food by local shepherds. The seeds were available alternative to cereals during drought seasons. They contain

high levels of proteins, lipids, and carbohydrates, comparable to major crops [1, 4]. Also, *A. squarrosum* plays an important ecological role in desert ecosystems, contributing to soil stabilization and ecosystem restoration [5]. The sand rice's contribution to combating desertification is no less significant. Its long and extensive root system can reliably anchor sand blown by strong desert winds, thus preventing erosion.

Despite its high potential, the domestication of *A. squarrosum* is constrained by several unfavorable agronomic traits. Mostly these are strong seed shattering, asynchronous maturation, small seed size, and unstable productivity under fluctuating environmental conditions [6]. These limitations significantly hinder its transformation into a cultivated crop. Therefore, the generation of novel genetic variability is a key prerequisite for overcoming these barriers and accelerating breeding progress.

Induced mutagenesis is a commonly used approach for the induction of genetic diversity in plants. Chemical mutagens, such as ethyl methanesulfonate (EMS), N-methyl-N-nitrosourea (NMU), and sodium azide (NaN_3), are well-known to cause nucleotide substitutions, deletions, and chromosomal rearrangements [7]. They have been commonly used for the induction of new allelic variants that may lead to beneficial phenotypic changes [8]. Among these methods, chemical mutagenesis using ethyl EMS is one of the most widely applied techniques. EMS primarily induces point mutations through alkylation of guanine bases, leading to G/C to A/T transitions, which can result in altered gene function and novel phenotypic traits [9]. Compared to spontaneous mutations, EMS mutagenesis significantly increases mutation frequency and allows the generation of large mutant populations suitable for selection [10]. EMS mutagenesis has proven effective across a wide range of crop species. Work in *Oryza sativa* has shown that EMS-treated populations can yield mutants with meaningfully improved agronomic characteristics [11]. A similar picture emerges from *Solanum melongena*, where EMS treatment generated substantial genetic and morphological diversity, from which lines carrying desirable traits could be reliably selected [9]. Taken together, these cases illustrate how broadly useful EMS can be, both as a crop improvement strategy and as a tool for dissecting gene function.

Attention has more recently turned to *A. squarrosum*, and early results are encouraging. EMS treatment has been shown to substantially broaden phenotypic variability in sand rice, with particularly clear effects on seed size and the timing of seedling emergence [12]. Compared to wild-type material, mutant populations spanned a considerably wider range of variation, and certain selected lines stood out for larger seeds, more uniform emergence, and stronger seedling vigor. Beyond these quantitative shifts, EMS mutagenesis has also enabled the recovery of specific morphological variants – trichome-deficient mutants being a notable example – which have in turn opened a route to identifying genes underlying adaptive traits [13]. That is why chemical mutagenesis is a workable and productive approach for both the domestication and broader genetic improvement of this species

Induced mutations become heritable and stable in subsequent generations, particularly from the M_2 generation onward, allowing reliable selection of desirable phenotypes [14]. The integration of mutagenesis with selection provides an effective strategy for developing improved plant forms within a relatively short time frame.

Because of the ecological resilience and nutritional value of *A. squarrosum*, the expansion of its genetic variability through EMS mutagenesis is a promising approach for its domestication and utilization in arid agriculture. However, there remains a need for optimized and reproducible protocols that ensure a balance between mutation efficiency and seed viability.

The aim of this study was to develop an effective method for inducing genetic variability in *A. squarrosum* using EMS mutagenesis and to evaluate the resulting mutant populations for

key morphological and productivity-related traits. The proposed approach is expected to facilitate the development of improved forms suitable for cultivation in arid environments and contribute to the diversification of crop resources.

Research materials

Mature seeds of *A. squarrosum* were collected in September 2024. They were collected in the sandy desert near Birlik village located in Almaty region (44.6985° N, 76.7309° E). Before the treatment, seeds were manually cleaned from impurities and insects. Then they were visually inspected to select uniform, healthy, and fully developed seeds.

Selected clean seeds were pre-soaked in distilled water and kept at room temperature for 5 h to ensure uniform hydration. 0.3% EMS (Sigma-Aldrich) solution prepared in 0.1 M phosphate buffer was used as a chemical mutagen. The mutagen solution was freshly prepared immediately before use. Pre-soaked in water seeds were left in the EMS solution and incubated at room temperature for 18 h with gentle mixing to ensure uniform exposure. Following treatment, seeds were thoroughly rinsed with distilled water for 90 min to remove residual mutagen and stop its activity. After washing, seeds were placed on filter paper and air-dried at room temperature to their initial moisture content. Treated seeds were then sown in 1 m^3 pots with a sand from Birlik village to simulate natural growing conditions. Germination and plant growth were carried out under following conditions: temperature of 25-35°C, relative humidity of 30-40%, and light intensity of 80000-120000 lux. A total of 150 seeds were treated with EMS. Of these, 51 seeds germinated in the M_1 generation, corresponding to a germination rate of 34%.

The seeds of M_1 generation were grown in greenhouse of Institute of plant biology and biotechnology. Randomly selected seeds harvested from M_1 plants were used to establish an M_2 population consisting of 15 individuals. Since all available M_2 plants were included in the study, no additional sampling was performed. The relatively small M_2 population size ($n = 15$) should be considered a limitation of the present study, as it may not fully capture the spectrum of EMS-induced mutations. All M_2 plants were included in the phenotypic evaluation, where recessive EMS-induced mutations can become phenotypically expressed following segregation. M_2 plants along with wild type plants were grown in test field in Birlik village in April 2025. Plants were assessed based on key morphological and productivity-related traits, including plant height, bush width, seed size, and thousand seed weight. Seed length, seed width, and seed circularity were determined using a MARVIN digital seed analyzer (MARViTECH GmbH, Germany). Seed circularity represents a software-derived shape parameter calculated automatically by the MARVIN image analysis system and used to characterize seed geometry. Fifteen plants per wild and mutant forms were assessed. A sample size of fifteen plants per group is commonly considered sufficient for preliminary mutagenesis studies aimed at detecting major phenotypic effects and identifying promising mutant lines for further evaluation. Statistical analyses were performed using R software v. 4.4.0. Differences in trait values between wild and mutant forms were evaluated using Student's t-test. Prior to analysis, data normality was assessed using the Shapiro–Wilk test.

Results and Discussion

The application of EMS mutagenesis to seeds of *A. squarrosum* resulted in the successful generation of a viable mutant population. They were characterized by visible phenotypic variability. The treated seeds demonstrated good germination rates, indicating that the selected EMS concentration and exposure duration provided a balance between mutagenic efficiency and seed viability. This is consistent with previous reports highlighting the importance of

optimizing EMS dosage to avoid excessive lethality while maintaining mutation frequency [12].

Early developmental stages revealed no critical abnormalities that would compromise plant survival. As shown in Figure 1A–C, germination occurred uniformly, and seedlings developed normally under controlled conditions.

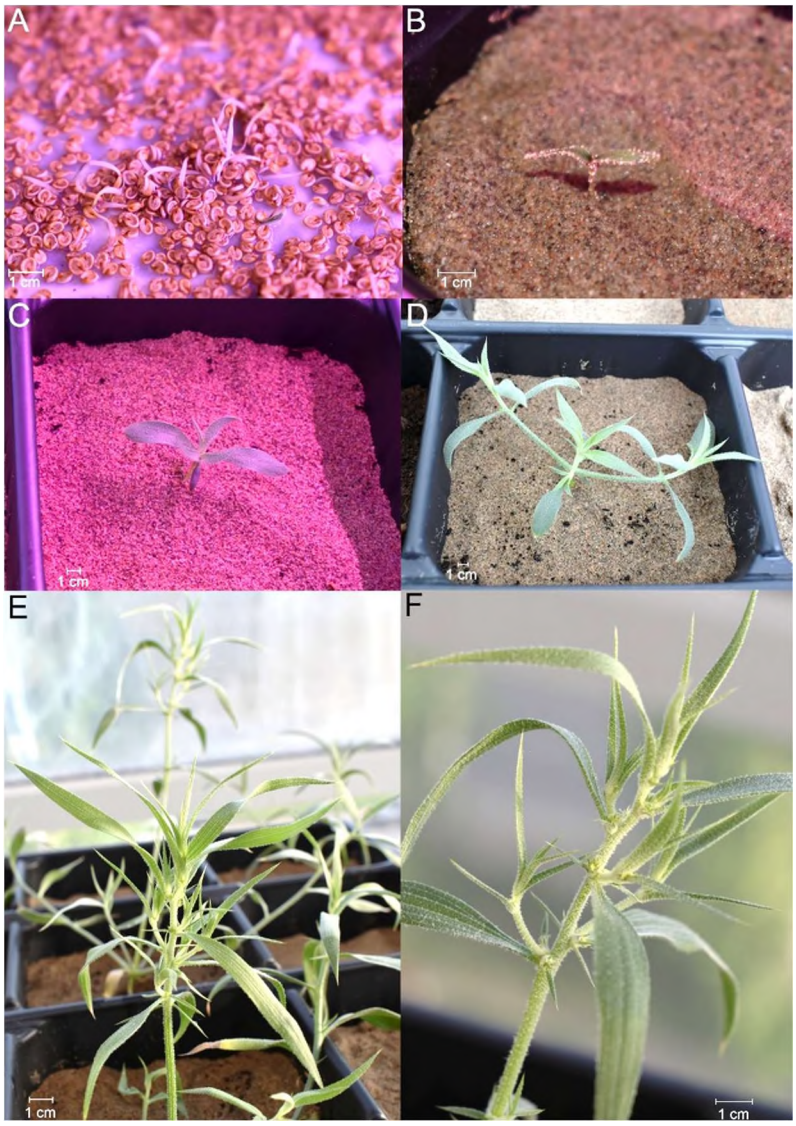


Figure 1. Developmental stages of *Agriophyllum squarrosum* following EMS treatment (M_1). (A) Germination of treated seeds under controlled conditions; (B) Early seedling emergence in sandy substrate; (C) Seedling establishment under artificial lighting; (D) Vegetative growth stage showing plant architecture and leaf development; (E) Close-up of stem and leaf morphology illustrating trichomes and structural features; (F) Close-up of flowers.

Slight variation in germination dynamics was observed, suggesting the presence of mutations affecting early growth processes. In Figure 1D-F, plants at later vegetative stages exhibited differences in leaf morphology, branching patterns, and plant architecture, reflecting the induction of genetic variability.

A key outcome of EMS treatment was the expansion of phenotypic diversity compared to the original population. Morphological assessment of the M_2 generation revealed significant variation in plant height and bush width (Figure 2).



Figure 2. Wild type plant (A) and mutants (M_2) (B) of *Agriophyllum squarrosum* in the experimental plot.

Growing the two forms side by side in field conditions revealed the morphological differences between the wild-type and mutant form of *A. squarrosum*. The wild type (Figure 2A) had an open, loosely branched structure. Its internodes were elongated, lateral shoots were sparsely arranged, and the stems were slender than in mutants. The mutant form (Figure 2B) looked strikingly different. Its growth habit was markedly compact and sturdy, with shorter internodes and a denser arrangement of branches. The inflorescences were clustered together into tight spike-like structures – larger than those of the wild type. The mutant also developed thicker stems, and its reproductive organs were distributed more evenly and regularly along the shoots – a feature that, from a breeding standpoint, may be of considerable practical interest.

Quantitative analysis (Table 1) demonstrated that mutant lines exhibited slightly increased plant height (43.8 ± 3.5 cm) compared to the wild population (41.5 ± 4.9 cm), as well as a wider bush architecture (23.6 ± 1.7 cm vs. 21.7 ± 2.7 cm). The greatest significant difference between wild and mutant forms was observed for seed length, width, and circularity

(P-values from 7.54×10^{-6} to 6.00×10^{-13}). These traits may contribute to improved potential yield under cultivation conditions.

Table 1. Comparative analysis of morphological and productivity-related traits wild and mutant lines of *Agriophyllum squarrosum* based on Student's t-test.

Form	Plant height, cm	Bush width, cm	Seed width, mm	Seed length, mm	Seed circularity	1000 seeds weight, g
Wild	41.5 ± 4.9	21.7 ± 2.7	1.8 ± 0.1	2.4 ± 0.2	1.2 ± 0.08	1.83 ± 0.41
Mutant	43.8 ± 3.5	23.6 ± 1.7	2.0 ± 0.06	2.8 ± 0.2	1.6 ± 0.03	2.17 ± 0.17
P-value of the intergroup difference	0.1514	0.0302	9.07×10^{-7}	7.54×10^{-6}	6.00×10^{-13}	0.0080

Particularly visible changes were observed in seed morphology as well (Figure 3).

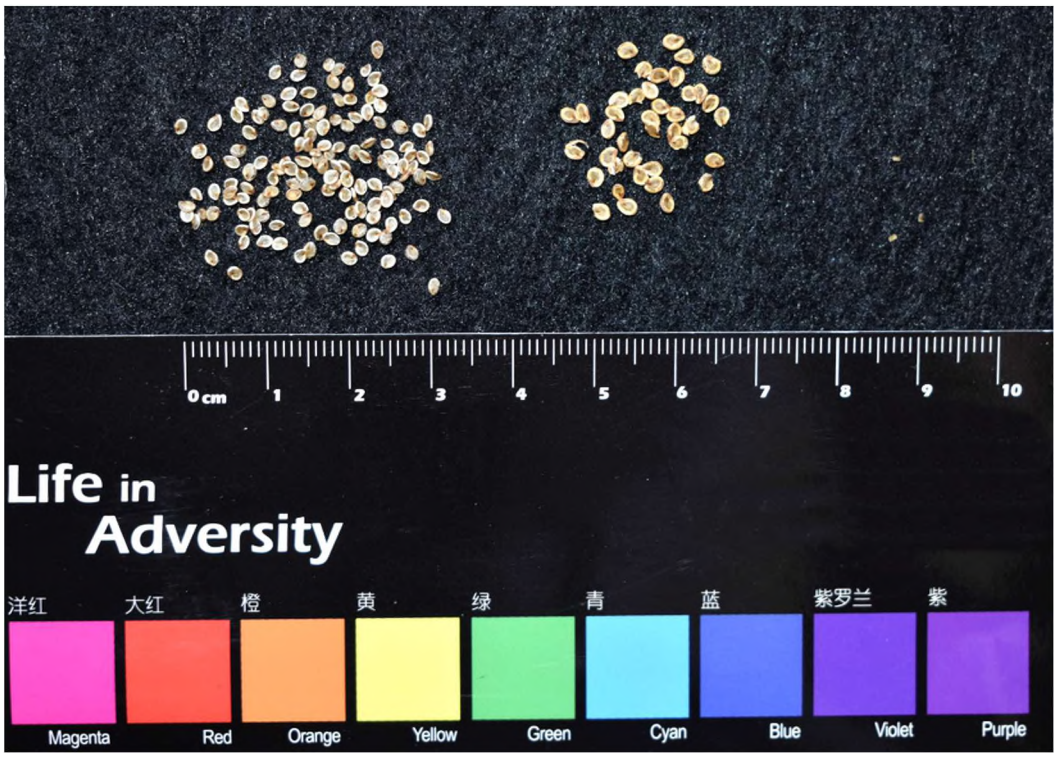


Figure 3. Comparison of seed sizes in wild forms (on the left) and mutant forms (on the right) of *Agriophyllum squarrosum*.

Mutant seeds were visually larger and more uniform than seeds from the wild population. This observation was supported by biometric measurements. Seed width increased from 1.8 ± 0.1 mm in wild-type seeds to 2.0 ± 0.06 mm in mutant forms, while seed length increased from 2.4 ± 0.2 mm to 2.8 ± 0.2 mm, respectively (Table 1). Despite that, seed circularity also increased significantly, indicating that mutant seeds became more rounded in shape in addition to being larger. The thousand seed weight increased from 1.83 ± 0.41 g in the control to 2.17 ± 0.17 g in the mutant line, representing a substantial improvement in a key agronomic trait.

The increase in seed size and weight is particularly significant in the context of domestication. Small seed size is one of the primary limitations of *A. squarrosum* as a potential crop [15, 16]. Larger seeds not only improve yield potential of mutant lines, but also facilitate sowing and increase competitiveness under field conditions of extreme deserts. Similar improvements in seed traits after EMS mutagenesis have been reported in other species [10, 12, 17]. In general, it confirms the effectiveness of this approach in modifying yield-related characteristics.

Along with the seed traits, variation in plant morphology was also detected. Differences in leaf length, width, and orientation were observed among mutant individuals suggesting alterations in developmental pathways of plant vegetative organs as well. Changes in plant architecture, including branching and stem size, may influence resistance to lodging and adaptability to cultivation practices. These findings indicate that EMS-induced mutations can affect multiple trait categories simultaneously [12, 13], providing a broad selection base for breeding.

The observed variability was consistently expressed in the M_2 generation, indicating successful induction and phenotypic manifestation of EMS-derived mutations [13, 18]. This is a critical requirement for their use in breeding programs. However, because M_2 represents a segregating generation, stable inheritance of the observed phenotypes should be confirmed through evaluation of subsequent generations (M_3, M_4 and etc.). The ability to identify and select desirable phenotypes at this stage significantly accelerates the development of improved lines compared to conventional selection from natural populations. From a practical perspective, the developed mutagenesis protocol proved to be efficient and reproducible. The use of a single EMS treatment step simplifies the procedure and reduces labor and resource requirements. At the same time, the method generates sufficient variability to enable effective selection. Compared to more complex mutagenesis systems involving multiple treatments or additional genetic manipulations, this approach is well-suited for routine use in breeding and research programs. A limitation of the present study is the absence of a buffer-treated control group. Although the observed phenotypic variation is consistent with previously reported EMS-induced effects in *A. squarrosum* and other species, a contribution of seed soaking-related physiological responses cannot be fully excluded. The present study was based exclusively on phenotypic evaluation and did not include molecular verification of EMS-induced mutations. Therefore, the observed phenotypic variation cannot be unequivocally attributed to specific DNA sequence changes. Although EMS predominantly induces point mutations, contributions of epigenetic modifications or other non-genetic factors cannot be completely excluded. Future work will focus on molecular characterization of selected mutant lines using genotyping and/or sequencing-based approaches to validate the genetic basis of the observed phenotypes.

However, the results demonstrated that EMS-induced mutagenesis is a powerful tool for expanding phenotypic diversity of *A. squarrosum*. The identified mutant forms with improved seed size, plant architecture, and potential increased productivity traits represent valuable material for further domestication and breeding. Due to the ecological resilience of this species, such improvements may contribute to the development of new crops adapted to arid and semi-arid environments in Kazakhstan and other Central Asian countries.

Conclusions

The results of this study demonstrated that EMS-induced mutagenesis works well as a strategy for generating phenotypic variation expressed in the M_2 generation in *A. squarrosum*. The treatment conditions we settled on – 0.3% EMS applied for 18 hours – struck a workable balance between inducing mutations and maintaining acceptable seed viability, ultimately

yielding a mutant population expressing stable phenotypes within the evaluated M_2 generation. By the M_2 generation, meaningful improvements had emerged across several agronomically relevant traits: bush width, seed width, seed length, seed circularity, and thousand seed weight all showed measurable gains. The increases in seed size and weight are perhaps the most practically significant of these, as small seed size has long been considered one of the main obstacles standing between this species and successful domestication. Beyond seed traits, the mutagenesis also produced variation in plant architecture and seed uniformity, which broadens the pool of characteristics available for selection. The expression of these traits in the M_2 generation suggests that EMS treatment successfully generated novel phenotypic variation. However, confirmation of stable inheritance will require evaluation of subsequent generations. On the whole, the protocol described here is straightforward, reproducible, and yields material of real breeding value – and the findings add further weight to the idea that *A. squarrosum* deserves serious consideration as a candidate crop for dryland and arid agricultural systems. Future studies will involve larger populations, multi-environment trials, and evaluation of additional agronomic traits to validate the stability and breeding value of the selected mutant lines.

Funding

The research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant AP23489531 titled "Studying the biodiversity of sand rice (*Agriophyllum squarrosum* L.) to improve ecological state and development of agriculture in desert regions of Kazakhstan".

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Authors contribution

The manuscript was written through contributions of all authors. All authors have given approval to the final version of the manuscript. Y.A. Genievskaya – investigation, data curation, writing-original draft preparation, writing-review and editing; S.A. Abugalieva – writing-review and editing; Y.K. Turuspekov – conceptualization, writing-review and editing; A.K. Zatybekov – data curation, methodology, writing-review and editing, funding acquisition, project administration.

References:

1. Chen, G., Zhao, J., Zhao, X., Zhao, P., Duan, R., Nevo, E., & Ma, X. (2014). A psammophyte *Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.: a potential food crop. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 61(3), 669-676. https://doi.org/10.1007/s10722-014-0083-8.

2. Genievskaya, Y., Abugalieva, S., Zhubanysheva, A., & Turuspekov, Y. (2017). Morphological description and DNA barcoding study of sand rice (*Agriophyllum squarrosum*, Chenopodiaceae) collected in Kazakhstan. *BMC Plant Biology*, 17(Suppl 1), 177. https://doi.org/10.1186/s12870-017-1132-1.

3. Zhao, P., Ran, R., Sun, H., Liu, Y., Li, X., Wang, C., & Chen, G. (2023). Sand rice, a promising future crop for desert and marginal lands in northern China. *Grassland Research*, 2(4), 260-265. https://doi.org/10.1002/glr2.12065.

4. Jiao, D., Liang, Y., Zhou, S., Wu, X., Degen, A. A., Hickford, J., & Yang, G. (2022). Supplementing diets with *Agriophyllum squarrosum* reduced blood lipids, enhanced immunity and anti-inflammatory capacities, and mediated lipid metabolism in Tan lambs. *Animals*, 12(24), 3486. https://doi.org/10.3390/ani12243486.

5. Nemoto, M. & Lu, X. (1992). Ecological characteristics of *Agriophyllum squarrosum*, a pioneer annual on sand dunes in eastern Inner Mongolia, China. *Ecological Research*, 7(2), 183-186. https://doi.org/10.1007/BF02348498.

6. Chen, C., Zuo, X., & Zhao, X. (2024). The effect of ecological characteristics on the domestication of sand rice (*Agriophyllum squarrosum*). *PeerJ*, 12, e18320. https://doi.org/10.7717/peerj.18320.
7. Chaudhary, J., Deshmukh, R., & Sonah, H. (2019). Mutagenesis approaches and their role in crop improvement. *Plants*, 8(11), 467. https://doi.org/10.3390/plants8110467.
8. Oladosu, Y., Rafii, M.Y., Abdullah, N., Hussin, G., Ramli, A., Rahim, H.A., & Usman, M. (2016). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 30(1), 1-16. https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333.
9. Subramaniam, R. & Kumar, V.S. (2023). Ethyl methanesulphonate (EMS)-mediated mutagenesis induces genetic and morphological variations in eggplant (*Solanum melongena* L.). *International Journal of Plant Biology*, 14(3), 714-728. https://doi.org/10.3390/ijpb14030053.
10. Chen, L., Duan, L., Sun, M., Yang, Z., Li, H., Hu, K., & Liu, L. (2023). Current trends and insights on EMS mutagenesis application to studies on plant abiotic stress tolerance and development. *Frontiers In Plant Science*, 13, 1052569. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1052569.
11. Viana, V. E., Pegoraro, C., Busanello, C., & Costa de Oliveira, A. (2019). Mutagenesis in rice: the basis for breeding a new super plant. *Frontiers in plant science*, 10, 1326. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01326.
12. Li, X., Sun, H., Cui, X., Miao, Y., & Zhao, P. (2025). Developing elite lines with synchronous emergence rate and strong seedling vigor for sand rice (*Agriophyllum squarrosum*) cultivation. *Research in Cold and Arid Regions*. https://doi.org/10.1016/j.rcar.2025.05.010.
13. Zhang, J., Zhao, P., Zhao, J., & Chen, G. (2018). Synteny-based mapping of causal point mutations relevant to sand rice (*Agriophyllum squarrosum*) trichomeless1 mutant by RNA-sequencing. *Journal of Plant Physiology*, 231, 86-95. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.09.003.
14. Arisha, M.H., Shah, S.N., Gong, Z.H., Jing, H., Li, C., & Zhang, H.X. (2015). Ethyl methane sulfonate induced mutations in M2 generation and physiological variations in M1 generation of peppers (*Capsicum annuum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 6, 399. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00399.
15. Zhao, P., Li, X., Ran, R., Sun, H., Zhao, J., & Chen, G. (2022). Precipitation and local environment shape the geographic variation of seed size across natural populations of sand rice (*Agriophyllum squarrosum*). *Journal of Experimental Botany*, 73(16), 5682-5697. https://doi.org/10.1093/jxb/erac231.
16. Liu, M., Zhu, R., Xie, H. (2022). Responses of germination strategy of *Agriophyllum squarrosum* to rainfall pattern in the Tengger desert. *PeerJ*, 10, e14395. https://doi.org/10.7717/peerj.14395.
17. Di Pauli, V., Fontana, P.D., Lewi, D.M., Felipe, A., & Erazzú, L.E. (2025). Ethyl methanesulfonate-induced mutagenesis generates genetic and morphological variations in an elite Argentine sugarcane genotype. *Discover Plants*, 2(1), 230. https://doi.org/10.1007/s44372-025-00298-x.
18. Ran, R., Cui, X., Zhao, X., Zhao, Y., Zhang, C., & Zhao, P. (2025). Within-plant leaf maturity and trichome density variation shape the elemental composition divergence in desert plant sand rice (*Agriophyllum squarrosum*). *Ecology and Evolution*, 15(6), e71542. https://doi.org/10.1002/ece3.71542.

Information about the authors

Y.A. Genievskaya – PhD, Senior Researcher at the Laboratory of Molecular Genetics, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: julia.genievskaya@gmail.com; ORCID: 0000-0001-5987-2952;
S.A. Abugalieva – Doctor of biological science, Professor, Principal Researcher at the Laboratory of Molecular Genetics, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: absaule17@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9748-507X;
Y.K. Turuspekov – Candidate of biological science, Professor, Head of the Laboratory of Molecular Genetics, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: yerlant@yahoo.com; ORCID: 0000-0001-8590-1745;
A.K. Zatybekov – corresponding author, PhD**,** Associate Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Molecular Genetics, Institute of Plant Biology and Biotechnology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: alexbek89@mail.ru; ORCID: 0000-0003-4310-5753.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-45-57
UDC 578.82/.83:575.8
IRSTI 34.25.29;34.15

MUTATIONAL DYNAMICS AND EVOLUTION OF ZOONOTIC RNA VIRUSES IN NATURAL RESERVOIRS

F.R. Ikramkulova[1*,2], A.M. Malik[2], M.A. Abdulzhanova[2], V.V. Kirpichenko[1], P.B. Akshalova[1], A.Zh. Kassen[1], A.S. Nurpeisova[1]

[1]Kazakh Scientific Research Veterinary Institute, Almaty, Kazakhstan*
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[*]Corresponding author: fariza.ikramkulova@bk.ru

Abstract

The emergence of zoonotic RNA viruses poses a critical threat to global public health, with approximately 75% of new infectious diseases originating from animal reservoirs. While global evolutionary trends are well-documented, the intersection of viral mutational dynamics and regional ecological factors - particularly in Central Asia remains insufficiently integrated, hindering effective biosafety surveillance. This review follows the PRISMA guidelines, synthesizing molecular-genetic data from PubMed, Web of Science, and Scopus to analyze the mutational plasticity of RNA viruses and their circulation in natural reservoirs. Our analysis characterizes the molecular drivers of interspecies barriers and demonstrates that Kazakhstan's unique biogeographic landscape acts as a catalyst for region-specific viral evolution. We conclude that integrating «One Health» frameworks with metagenomic surveillance is essential to mitigate future zoonotic risks in the region.

Keywords: RNA viruses; mutational dynamics; zoonosis; natural reservoir; spillover.

ТАБИҒИ РЕЗЕРВУАРЛАРДАҒЫ ЗООНОЗДЫҚ РНК-ВИРУСТАРЫНЫҢ МУТАЦИЯЛЫҚ ДИНАМИКАСЫ МЕН ЭВОЛЮЦИЯСЫ

Икрамкулова Ф.Р.[1*,2], Мәлік А.М.[2], Абдулжанова М.А.[2], Кирпиченко В.В.[1], Ақшалова П.Б.[1], Касен А.Ж.[1], Нурпейсова А.С.[1]

[1]Қазақ ғылыми зерттеу ветеринариялық институты, Алматы, Қазақстан*
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
[*]Хат-хабар үшін: fariza.ikramkulova@bk.ru

Аңдатпа

Зоонозды РНҚ вирустарының пайда болуы жаһандық қоғамдық денсаулық сақтау жүйесіне елеулі қауіп төндіреді, оның ішінде жаңа инфекциялық аурулардың шамамен 75%-ы жануарлар резервуарларынан бастау алады. Жаһандық эволюциялық үрдістер жақсы зерттелгенімен, вирустың мутациялық динамикасы мен өңірлік экологиялық факторлардың (әсіресе Орталық Азияда) өзара байланысы жеткілікті түрде толықтырылмаған, бұл биоқауіпсіздік саласындағы тиімді эпидемиологиялық қадағалауға кедергі келтіреді. Бұл шолу PRISMA нұсқауларына сәйкес дайындалған және РНҚ вирустарының мутациялық икемділігі мен табиғи резервуарлардағы циркуляциясын талдау үшін PubMed, Web of Science және Scopus деректер базаларынан алынған молекулалық-генетикалық мәліметтерді жинақтайды. Біздің талдауымыз түр аралық кедергілерді жеңудің молекулалық факторларын сипаттайды және Қазақстанның ерекше биогеографиялық ландшафты өңірлік деңгейдегі вирустар эволюциясының катализаторы ретінде қызмет ететінін көрсетеді. Біз аймақтағы болашақ зоонозды қауіптерді азайту үшін «Біртұтас денсаулық» (One Health) тұжырымдамасын метагеномдық мониторингпен интеграциялау қажет деген қорытындыға келдік.

Кілт сөздер: РНК-вирустары, мутациялық динамика, зооноз, табиғи резервуар, тұураралық ауысу.

МУТАЦИОННАЯ ДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ЗООНОЗНЫХ РНК-ВИРУСОВ В ПРИРОДНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ

Икрамкулова Ф.Р.[1*,2], Мәлік А.М.[2], Абдулжанова М.А.[2], Кирпиченко В.В.[1], Ақшалова П.Б.[1], Касен А.Ж.[1], Нурпейсова А.С.[1]

[1]Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт, Алматы, Казахстан*
[2]Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: fariza.ikramkulova@bk.ru

Аннотация

Возникновение зоонозных РНК-вирусов представляет критическую угрозу для глобального общественного здравоохранения, при этом около 75% новых инфекционных заболеваний имеют природные резервуары. В то время как глобальные эволюционные тренды хорошо изучены, взаимосвязь между мутационной динамикой вирусов и региональными экологическими факторами (особенно в Центральной Азии) остается недостаточно проработанной, что затрудняет эффективный эпиднадзор в области биобезопасности. Данный обзор составлен согласно руководству PRISMA и объединяет молекулярно-генетические данные из баз PubMed, Web of Science и Scopus для анализа мутационной пластичности РНК-вирусов и их циркуляции в природных резервуарах. Наш анализ характеризует молекулярные факторы преодоления межвидовых барьеров и демонстрирует, что уникальный биогеографический ландшафт Казахстана выступает катализатором регионально-специфичной эволюции вирусов. Мы приходим к выводу, что интеграция концепции «Единого здоровья» (One Health) с метагеномным мониторингом является необходимой мерой для снижения будущих зоонозных рисков в регионе.

Ключевые слова: РНК-вирусы; мутационная динамика; зооноз; природный резервуар; межвидовый переход.

Introduction

The emergence and spread of new viral diseases (emerging infections) represent a critical threat to global public health and the economic stability of nations. Human history has been punctuated by viral outbreaks that reached pandemic scales, and it is now well-established that approximately 75% of these emerging infectious diseases in humans are zoonoses [1, 2, 3, 4].

Within the global scientific context, RNA viruses - including families such as *Orthomyxoviridae, Coronaviridae, Retroviridae*, and *Filoviridae* are the primary drivers of these threats. Their evolution is inextricably linked to their high mutational capabilities during circulation in natural reservoirs [5]. While high mutation rates (10^{-4} to 10^{-6} substitutions per site per cycle) and quasispecies dynamics are recognized as the foundation of this adaptation, global surveillance often struggles to predict the specific timing and location of spillover events [6, 7, 8, 9].

Despite extensive research on these mechanisms, a significant research gap remains: while global evolutionary trends are well-documented, the intersection between global mutational trajectories and regional ecological factors-particularly in complex biogeographic zones like Central Asia is insufficiently integrated. Scientific literature often treats global viral trends and regional epizootic data as separate entities, failing to unify them under a comprehensive «One Health» framework. Consequently, we lack a granular understanding of how regional biodiversity, such as that found in the unique ecosystems of Kazakhstan - a cross-continental corridor for migratory birds, tick vectors, and reservoir mammals acts as a catalyst for region-specific evolutionary trajectories [5, 10, 11].

This review addresses these gaps by synthesizing current knowledge on the molecular basis of RNA virus mutational dynamics with the ecological realities of natural reservoirs. The

novelty of this work lies in the correlation between regional biodiversity data and the specific evolutionary plasticities of RNA viruses in Central Asia. The primary objective of this study is to characterize the molecular drivers of interspecies barriers and to map evolutionary risks specific to the regional landscape of Kazakhstan, thereby providing a foundational basis for improved regional biosafety and epidemiological surveillance.

Materials and methods of research

Study design and search strategy

The methodological framework of this study is based on a systematic analytical review conducted in accordance with the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines. Relevant literature was identified and selected through comprehensive searches of international bibliometric databases, including PubMed, Web of Science, and Scopus. The search strategy focused on key markers of mutational dynamics, such as RNA-dependent RNA polymerase fidelity, nucleotide substitution rates, and proofreading mechanisms, utilizing search queries combining terms related to zoonotic RNA viruses, mutational dynamics, natural reservoirs, and spillover events.

Inclusion and exclusion criteria

The selection of literature was governed by strict inclusion and exclusion criteria. The study included peer-reviewed publications providing molecular-genetic, phylogenetic, or epizootological data on zoonotic RNA viruses, with a particular focus on virus-host interactions, evolutionary clustering, and regional epidemiology. Conversely, non-peer-reviewed literature, articles lacking primary molecular-genetic evidence, and duplicate reports were excluded from the analysis to ensure the scientific rigor of the review.

Data synthesis and selection process

In addition to classical review methodology, published molecular-genetic and phylogenetic studies were comparatively analyzed using data from international genetic repositories, including GenBank and GISAID. Particular attention was paid to viral genetic lineages, nucleotide substitutions, and evolutionary clustering associated with zoonotic pathogens circulating in natural reservoirs. To support the theoretical analysis of interspecies barrier crossing, data from the ZOVER (Zoonotic Virus Database) were interpreted to facilitate a comparative assessment of global evolutionary trends and regional ecological specificities. Finally, the epidemiological situation in the Republic of Kazakhstan was assessed through a systematic analysis of published epizootic monitoring data, molecular epidemiology studies, and phylogenetic investigations of viral isolates circulating within the region.

Results

Mutations, defined as stable changes in the nucleotide sequence of the genome, play a central role in the evolution of RNA viruses. Under conditions of selective pressure from the host and the environment, it is mutagenesis that provides viruses with the genetic plasticity necessary for adaptation and survival [12].

Underlying this plasticity is the low fidelity of the RNA-dependent RNA polymerase enzyme, which catalyzes viral genome synthesis. Unlike the DNA polymerases of cellular organisms, most viral RdRps lack 3'-5' exonuclease activity, i.e., a proofreading mechanism. An exception is found in RNA viruses with large genomes, such as coronaviruses, in which a proofreading enzyme has been identified; this reduces their mutation rate compared to other RNA viruses, although it remains high. Consequently, errors arising during replication are fixed in the progeny genome [13, 14].

The molecular basis of RNA virus plasticity is rooted in the architecture and catalytic kinetics of the RNA-dependent RNA polymerase (RdRp). In most RNA viruses, the RdRp lacks

3'-5' exonuclease activity, resulting in a high error rate during replication. However, the evolutionary trajectory of these viruses is significantly shaped by the interplay between intrinsic replication fidelity and host-imposed selective pressures. For instance, in Coronaviridae, the presence of the nsp14-ExoN proofreading complex allows for the maintenance of larger genome sizes and higher replication fidelity compared to Paramyxoviridae or Orthomyxoviridae.

Mutational processes in natural reservoirs are further driven by the host's immune environment, which acts as a filter for viral variants. In bats, for example, the unique interferon-signaling pathways may exert distinct selective pressures, favoring the emergence of 'quasispecies clouds' that are pre-adapted for zoonotic transmission. These quasispecies facilitate rapid adaptation, as the presence of diverse variants within a single infection allows for the immediate selection of phenotypes capable of binding to human cell surface receptors, such as ACE2 or sialic acid-containing glycoproteins, thereby bridging the interspecies barrier [15, 16, 17].

Table 1. Comparative molecular and evolutionary characteristics of selected zoonotic RNA virus families

Viral Family	Genome Type	Proofreading Mechanism	Primary Evolutionary Driver	Zoonotic Strategy
Coronaviridae	(+)ssRNA	nsp14-ExoN (Present)	Recombination & Drift	Broad receptor tropism
Orthomyxoviridae	(-)ssRNA (segmented)	Absent	Reassortment	Antigenic shift
Paramyxoviridae	(-)ssRNA	Absent	Rapid mutational drift	High cell-entry efficiency
Nairoviridae	(-)ssRNA (segmented)	Absent	Host-vector adaptation	Vector-borne transmission

The high replication rate of RNA viruses exponentially increases the cumulative effect of mutagenesis. Within a short period, viral populations undergo numerous replication cycles, leading to the rapid accumulation of genetic diversity.

Mutation frequency and character also depend on host factors; body temperature, cellular metabolic intensity, and, in particular, the immune response create potent selective pressure. The impact of the immune system or antiviral drugs facilitates the selection of viral variants that have acquired mutations allowing them to evade immune surveillance or develop drug resistance.

The rate of mutation accumulation differs among RNA virus families. For example, the substitution rate in Influenza A virus and Ebola virus is estimated at approximately 10^{-4} substitutions/site/year, whereas in SARS-CoV-2 this value is lower (~10^{-6}-10^{-5}), which is associated with the proofreading activity of the nsp14-ExoN complex. Despite the lower mutation rate, coronaviruses retain a high adaptive potential due to extensive circulation within host populations and selective pressure exerted by the host immune system [18, 19].

From a molecular perspective, point substitutions are the most common, divided into transitions (purine ↔ purine; pyrimidine ↔ pyrimidine) and transversions (purine ↔ pyrimidine). More significant structural genomic rearrangements can cause deletions, insertions, and recombinations [20, 21].

Most mutations are neutral or deleterious and are rapidly eliminated from the population. However, epidemiological significance is attached to mutations that confer adaptive advantages: increased transmissibility, resistance to immune response, or the ability to bind to new host receptors. Such mutations can drastically alter the epidemic potential of a virus.

High mutation levels result in the existence of RNA viruses as "quasispecies" - heterogeneous populations consisting of multiple genetically distinct but related genomes. This quasispecies structure provides the population with high adaptability. Processes of competition, selection of the fittest variants, and genetic drift constantly occur within it [8, 22]. It is also noted that single-stranded RNA viruses generally mutate faster than double-stranded viruses [14].

Mechanisms of crossing the species barrier

A zoonotic spillover, or the transmission of a virus from an animal reservoir to a human, is a critical event in the evolution of emerging infections. Many factors influence this process: intrinsic host and pathogen traits, their ecosystem, phylogenetic proximity, and external environmental conditions. However, simple co-habitation of humans with infected reservoir species does not appear to be a sufficient condition. Despite extensive human contact with wildlife and immense viral diversity, instances leading to successful human-to-human transmission remain rare, indicating the complexity of interspecies transitions [23, 24].

Any zoonotic pathogen causing disease in humans already possesses, to a certain degree, the ability to cross one or more barriers: interspecies (animal-to-human), intrahuman (dissemination within the organism), and interhuman (human-to-human) [23, 25, 26]. To firmly establish itself in a population and maintain sustained transmission chains, the pathogen must successfully overcome all three barriers.

The key molecular event for crossing the first, interspecies barrier is receptor binding and cell entry. The spatial structure of the viral surface protein must ensure high-affinity binding to receptors on the cell membrane of the new host. The emergence of such properties is typically the result of the accumulation of spontaneous mutations in the viral genome while still within the reservoir host population [27].

Upon successful entry, the virus faces the second, intrahuman barrier - the need to replicate and disseminate effectively. A decisive factor here is the specific tissues or organs where replication occurs. This is determined by cell susceptibility, host immune defense features, and local conditions such as temperature and pH. The site of replication may coincide with the entry point, but some pathogens form secondary foci that do not always match the sites from which the pathogen exits the body [28].

Finally, to cross the third, interhuman barrier, the virus must not only replicate but also acquire the ability for efficient and stable transmission between humans. To achieve this, it must acquire additional adaptive mutations. These mutations must optimize replication in tissues responsible for transmission, enhance resistance to innate and adaptive immunity, and ensure virion stability in the environment [27].

The evolution of SARS-CoV-2 serves as a clear illustration of this multistep process. Phylogenetic analysis points to its origin from viruses circulating in bats, likely involving an intermediate host. At the stage of interspecies transmission, a key role was played by mutations in the receptor-binding domain of the S-protein, which ensured high-efficiency binding to the human ACE2 receptor. Subsequent mutations arising within the human population were fixed and contributed to increased transmissibility and immune evasion - that is, the successful crossing of the third barrier [29, 30].

In contrast, the avian influenza H5N1 virus demonstrates high pathogenicity for humans but an extremely limited capacity for transmission. Molecular barriers, particularly suboptimal receptor binding (preference for α-2,3-sialic acids in the lower respiratory tract rather than α-2,6-sialic acids in the upper tract), limit its epidemic potential. Nevertheless, the risk remains that H5N1 could acquire this capacity through mutational drift or reassortment.

Comparison of SARS-CoV-2 and H5N1 demonstrates that the success of interspecies transmission is determined not only by viral pathogenicity, but also by the degree of adaptation to host receptor systems and mechanisms of human-to-human transmission. In this context, viral mutational dynamics acquire critical importance as a key factor influencing pandemic potential.

The rabies virus, like other RNA viruses, mutates constantly due to errors by its RNA polymerase. However, its key proteins responsible for entering nerve cells must maintain a strictly defined shape; therefore, most mutations in these regions are «weeded out» (negative selection), creating an illusion of viral stability [31].

Natural reservoirs as a platform for viral evolution

The relationship between wildlife and emerging diseases is key to understanding global public health threats. Zoonoses - infections transmitted to humans from vertebrate animals - account for up to 75% of all new infectious diseases. These include HIV, Ebola, highly pathogenic influenza viruses, and coronaviruses [29].

Natural reservoirs are a crucial link in the circulation of these viruses. These are animal species in whose populations the virus can persist for long periods, often without causing overt clinical signs of disease. The reservoir host creates a stable ecological niche in which the virus not only survives but actively evolves, undergoing replication, mutation, recombination, and - in the case of segmented viruses like influenza - reassortment.

The role of natural reservoirs is specific. Bats (order Chiroptera) are recognized reservoirs for many coronavirus strains, as well as filoviruses (Ebola, Marburg) and rhabdoviruses. Among the threats associated with bats, a prominent position is occupied by the Nipah virus (NiV), a highly pathogenic paramyxovirus whose primary natural reservoir is fruit bats of the genus Pteropus. According to studies by Ang et al. (2018) and Aditi et al. (2019), NiV is characterized by a critically high case-fatality rate (ranging from 40% to 100%) and the ability to infect a broad spectrum of tissues by binding to highly conserved ephrin-B2 and -B3 receptors. Transmission to humans occurs both directly through products contaminated with bat excretions and indirectly via intermediate hosts, such as pigs, highlighting the complex circulation pathways of the pathogen within the ecosystem [32, 33].

Features of their immune system allow them to carry viruses without developing disease, facilitating long-term circulation and pathogen diversification [28]. Rodents (order Rodentia) serve as reservoirs for hantaviruses and arenaviruses (Lassa virus). Wild waterfowl (order Anseriformes) are the primary natural reservoir for influenza A viruses, ensuring their global spread and genetic renewal during seasonal migrations. Transmission can occur directly from avian reservoirs or indirectly via the infection of other mammalian species, which then become sources of human infection [34, 35]. Additionally, wild and domestic animals such as raccoons, foxes, wolves, dogs, and cats serve as reservoirs for the rabies virus, a cause for concern by the WOAH [36].

Thus, natural reservoirs function as dynamic biological platforms, providing viruses with conditions to generate genetic diversity and adapt, which ultimately increases the probability of a cross-species jump.

Regional aspects of zoonotic virus circulation: the example of Kazakhstan

Due to its geographical location and diverse natural zones (mountain ecosystems, steppes, and deserts), Kazakhstan represents a region with a high risk for the circulation and evolution of zoonotic RNA viruses. The biogeographic diversity, combined with the presence of vast populations of wild animals, rodents, bats, and arthropod vectors (ticks, mosquitoes), creates optimal conditions for maintaining natural foci of infections. Of particular importance is Kazakhstan's location at the intersection of major migratory bird routes across Central Eurasia, which facilitates the continuous introduction and genetic renewal of circulating viral lineages. Combined with the diversity of climatic zones, this creates favorable conditions for sustained viral circulation and the emergence of locally adapted pathogen variants.

Under these conditions, viruses persist for extended periods within resident populations of reservoir animals. Data analysis, particularly from the ZOVER, confirms the region's epidemiological significance [37]. According to these data, 177 zoonotic viruses isolated from flies, rodents, bats, and ticks have been registered in Kazakhstan (figure 1).

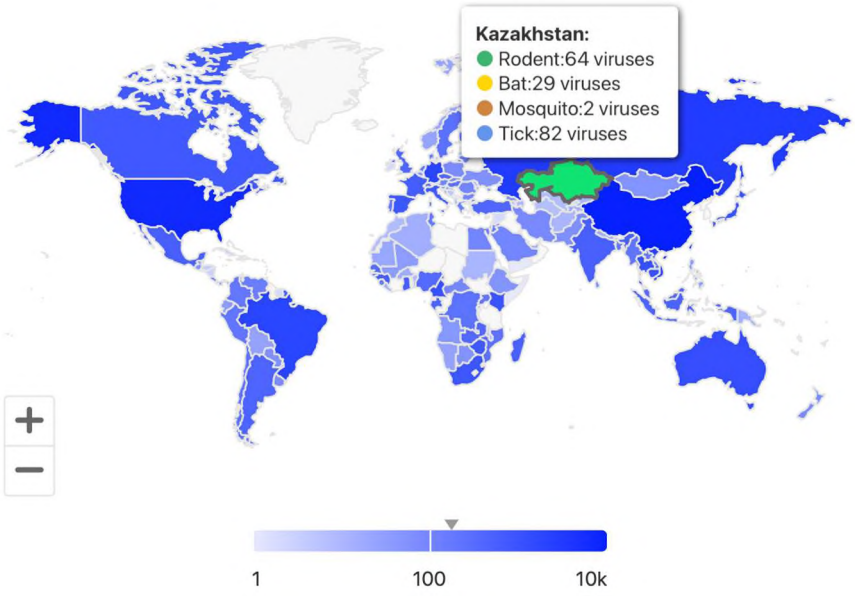


Figure 1. Comparative analysis of viruses identified in different hosts presented in the ZOVER database

The dominant reservoirs for these pathogens are ticks (associated with 82 viruses) and rodents (64 viruses). This indicates the high epidemiological significance of arboviruses transmitted by arthropods and viruses associated with rodents. The absolute majority of pathogens identified in the region are RNA viruses, which aligns with global trends (table 2). Such diversity and the active circulation of viruses in local ecosystems create prerequisites for mutational events and potential zoonotic spillovers, warranting the development of epidemiological surveillance systems in wildlife populations.

Table 2. Classification of viruses detected in different hosts (according to ZOVER data)

Genome type	Virus Families
ssRNA positive-strand viruses	*Caliciviridae, Astroviridae, Picornaviridae, Flaviviridae*
ssRNA negative-strand viruses	*Nairoviridae, Rhabdoviridae, Paramyxoviridae, Pneumoviridae, Orthomyxoviridae, Peribunyaviridae*
dsDNA viruses	*Poxviridae, Adenoviridae, Polyomaviridae, Orthoherpesviridae*
ssDNA viruses	*Genomoviridae, Anelloviridae, Circoviridae*
dsRNA viruses	*Sedoreoviridae*
DNA reverse transcribing viruses	*Hepadnaviridae*

This statistically confirmed epidemiological significance is most clearly manifested in the circulation of specific RNA viruses of high medical importance belonging to families that dominate the regional tick virome (figure 1).

The most pronounced epidemiological threat is posed by the circulation of arboviruses. In the desert and steppe ecosystems of the south (Kyzylorda, Turkistan, and Jambyl regions), endemic foci of the Crimean-Congo hemorrhagic fever virus (fam. *Nairoviridae*) are actively maintained. Here, the virus circulates in populations of the tick *Hyalomma asiaticum*, and its "Asia-1" and "Asia-2" genotypes consistently cause outbreaks among the human population [38]. Conversely, in the forest and mountain ecosystems of the east and north (Almaty region, Altai), foci of tick-borne encephalitis of the family *Flaviviridae* are formed. In these landscapes, the virus is maintained by a different reservoir - ticks of the genus Ixodes [39]. Furthermore, recent metagenomic studies confirm that the region is a "hotspot" for emerging viruses, identifying new pathogens from the family *Phenuiviridae* in ticks [40, 41].

Of particular note are studies of the bat virome in the cave complexes of Southern Kazakhstan. Molecular screening conducted in bat populations, specifically *Myotis blythii* and *Rhinolophus ferrumequinum*, revealed the circulation of new lineages of coronaviruses belonging to the genus Alphacoronavirus. Although the identified strains are phylogenetically distinct from SARS-CoV-2, the very presence of active circulation and high genetic diversity of coronaviruses in local bat populations confirms the region's role as a significant natural reservoir with the potential for interspecies transmission [10].

While the influenza virus circulates primarily in the reservoir of migratory birds, the rabies virus displays a distinct epizootic pattern linked to terrestrial mammals. According to local studies, an analysis of 989 foci registered in Kazakhstan between 2012 and 2021 revealed a clear separation of the infection into two dominant reservoir cycles: the anthropurgic cycle, most pronounced in the densely populated southern regions (Turkistan, Jambyl regions), where the virus actively circulates in domestic carnivore populations (192 cases); and the natural cycle, which dominates in the western region, where the maximum number of cases was recorded in wild predators [11].

Thus, the example of Kazakhstan clearly illustrates how various types of natural reservoirs - ticks, wild birds, and wild carnivores - combined with distinct strategies of mutational dynamics, form a complex and constantly evolving landscape of zoonotic threats.

Phylogenetic and molecular-genetic aspects of the circulation of zoonotic RNA viruses

Modern methods of molecular epidemiology and phylogenetic analysis make it possible to trace the origin, evolution, and spread of zoonotic RNA viruses through comparative analysis of nucleotide sequences available in international databases such as GenBank and GISAID.

According to published phylogenetic studies of SARS-CoV-2, viral variants circulating in Kazakhstan belonged to several genetic lineages, including B.1.1, B.1.1.7, and AY.122. Molecular-genetic analyses of whole-genome sequences revealed numerous nonsynonymous mutations in the ORF1ab, S, and ORF8 genes of Kazakhstani isolates, some of which were associated with altered functional properties of the virus. Published phylogenetic analyses of sequences deposited in the GenBank database demonstrated close genetic relatedness between Kazakhstani isolates and strains previously identified in Germany, Mexico, and other regions of Eurasia, indicating multiple routes of viral introduction and active circulation of diverse genetic lineages within the region [42].

Published phylogenetic data on SARS-related bat coronaviruses indicate the existence of several independent evolutionary lineages associated with recombination events involving the spike protein and ORF8 genes. The lineages most closely related to SARS-CoV-2 exhibit high nucleotide identity within the RdRp region; however, they differ in the structure of the receptor-binding domain, highlighting the important role of recombination in coronavirus evolution and in the emergence of novel variants capable of interspecies transmission [43].

For Crimean-Congo hemorrhagic fever virus (CCHFV) circulating in the southern regions of Kazakhstan, published phylogenetic analyses of the S and L genome segments demonstrated that local isolates belonged to the Asia-1 and Asia-2 genotypes. Kazakhstani strains showed a high degree of genetic similarity to strains identified in Uzbekistan, Turkmenistan, and China (92.1-98.4% nucleotide identity), confirming the existence of transboundary viral circulation across Central Asia. Furthermore, the identification of multiple genetic clusters indicates the simultaneous circulation of distinct evolutionary variants of the virus within populations of *Hyalomma* ticks [44, 45].

Molecular-genetic investigations of bat coronaviruses detected in Kazakhstan also confirmed the circulation of representatives of the genus Alpha-CoV. According to published analyses of the RdRp gene, the identified sequences formed distinct evolutionary branches within alphacoronaviruses, suggesting considerable reservoir diversity of coronaviruses within the natural ecosystems of the region [46].

Despite the growing accumulation of molecular-genetic data, the phylogenetic structure of zoonotic viruses circulating in Central Asia remains only fragmentarily characterized, limiting the ability to fully reconstruct their evolutionary pathways and patterns of interregional dissemination.

Thus, published phylogenetic evidence and comparative analyses of sequences from international genetic databases confirm the high genetic variability of zoonotic RNA viruses circulating in the natural reservoirs of Kazakhstan and neighboring territories. This underscores the need to expand regional genomic surveillance and integrate molecular epidemiological approaches into biological security systems.

Discussion

Evolutionary strategies and molecular plasticity

Our results demonstrate that the evolution of zoonotic RNA viruses is governed by distinct molecular strategies rather than a singular mutational path. The contrast between the conservative evolution of the rabies virus, driven by negative selection on its surface proteins, and the high plasticity of *coronaviruses*, supported by the nsp14-ExoN proofreading complex, highlights the diversity of adaptive mechanisms. While high mutation rates in families such as Paramyxoviridae and Orthomyxoviridae facilitate rapid antigenic variation, coronaviruses utilize a combination of moderate mutagenesis and efficient recombination. This indicates that assessing the pandemic potential of RNA viruses requires a family-specific approach, where

the presence or absence of proofreading mechanisms serves as a key predictor of adaptive capacity.

Regional ecological dynamics in Central Asia

The data presented for Kazakhstan identify this region as a critical interface for viral evolution. The presence of distinct reservoir cycles such as the anthropurgic and natural rabies cycles and the high diversity of tick-borne arboviruses in the south and east illustrate how ecological heterogeneity promotes the persistence of multiple genetic lineages. Our synthesis suggests that the role of Kazakhstan as a transboundary corridor is not merely geographical; it is a biological «hotspot» where migratory routes intersect with diverse resident mammal and vector populations. This convergence creates optimal conditions for the reassortment of segmented viruses and the recombination of non-segmented strains, potentially accelerating the emergence of novel variants.

Interpretation of phylogenetic findings

Published phylogenetic data for SARS-CoV-2 and CCHFV in Kazakhstan provide strong evidence for transboundary viral circulation. The high genetic similarity (92.1-98.4%) between regional CCHFV isolates and strains identified in neighboring Central Asian countries confirms that these viruses evolve within a shared ecological space. However, identified genetic clusters also reveal independent local trajectories within Hyalomma tick populations. This duality suggests that while viral spread is constant across the region, local ecosystems exert significant selective pressure, driving the formation of region-specific variants that may differ from global strains in virulence or transmissibility.

Implications for biosafety and integrated surveillance

The fragmented nature of current molecular data in Central Asia limits our understanding of viral evolution. We argue that epidemiological surveillance must shift from reactive clinical reporting to continuous genomic monitoring of natural reservoirs. Adopting a «One Health» framework integrating clinical records with metagenomic screening of vectors and wildlife is essential. Furthermore, our findings suggest that future antiviral development should focus on highly conserved regions of viral proteins, such as the RdRp complex, which are less prone to the rapid antigenic drift seen in surface glycoproteins.

Conclusion

The evolutionary dynamics of RNA viruses, coupled with their persistence in diverse natural reservoirs, pose an escalating threat to global public health. The inherent genetic plasticity of these viruses enables them to adapt rapidly, cross interspecies barriers, and evade host immune responses. In this context, natural reservoirs function as «evolutionary incubators» that facilitate constant viral diversification. Furthermore, anthropogenic activities such as climate change and land-use expansion continue to erode the boundaries between wildlife and human populations, significantly increasing the risk of zoonotic spillovers.

Addressing the threat of future pandemics requires a shift toward an interdisciplinary «One Health» framework. This approach must prioritize the integration of molecular research into viral evolution with continuous genomic surveillance. To improve the precision of these efforts, we recommend the implementation of modern diagnostic tools such as environmental DNA (eDNA) metabarcoding, which allows for the non-invasive identification of reservoir species in zoonotic hotspots. Ultimately, the development of universal vaccines and antiviral therapeutics targeting highly conserved viral proteins remains a crucial strategy to bolster global preparedness against current and emerging zoonotic threats.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

During the preparation of this work, the authors used artificial intelligence tools (ChatGPT, Gemini) to assist with English language editing and translation in the Introduction and Discussion sections. All scientific interpretations, data collection, and statistical analyses were performed entirely by the authors. The AI tools were not used for data collection or analysis. The authors reviewed and verified all content, and take full responsibility for the originality and content of this publication.

References:

1. Taylor, L.H., Latham, S.M., & Woolhouse, M.E. (2001). Risk factors for human disease emergence. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 356(1411), 983–989. https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0888
2. Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., & Balk, D. (2008). Global trends in emerging infectious diseases. Nature, 451(7181), 990–993. https://doi.org/10.1038/nature06536
3. Pandit, P.S., Anthony, S.J., Goldstein, T., Olival, K.J., & Doyle, M.M. (2022). Predicting the potential for zoonotic transmission and host associations for novel viruses. Communications Biology, 5(1), 844. https://doi.org/10.1038/s42003-022-04364-y
4. Ellwanger, J.H., & Chies, J.A.B. (2021). Zoonotic spillover: Understanding basic aspects for better prevention. Genetics and Molecular Biology, 44(1 Suppl 1), e20200425. https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2020-0425
5. Parrish, C.R., Holmes, E.C., Morens, D.M., & Park, E.C. (2008). Cross-species virus transmission and the emergence of new epidemic diseases. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 72(3), 457–470. https://doi.org/10.1128/MMBR.00004-08
6. Mandary, M.B., Masomian, M., & Poh, C.L. (2019). Impact of RNA virus evolution on quasispecies formation and virulence. International Journal of Molecular Sciences, 20(18), 4657. https://doi.org/10.3390/ijms20184657
7. Fairman, C.W., Lever, A.M.L., & Kenyon, J.C. (2021). Evaluating RNA structural flexibility: Viruses lead the way. Viruses, 13(11), 2130. https://doi.org/10.3390/v13112130
8. Villa, T.G., Abril, A.G., Sánchez, S., de Miguel, T., & Sánchez-Pérez, A. (2021). Animal and human RNA viruses: genetic variability and ability to overcome vaccines. Archives of Microbiology, 203(2), 443–464. https://doi.org/10.1007/s00203-020-02040-5
9. Peck, K.M., & Lauring, A.S. (2018). Complexities of Viral Mutation Rates. Journal of Virology, 92(14), e01031-17. https://doi.org/10.1128/JVI.01031-17
10. Burashev, Ye. D., Orynbayev, M.B., Sultankulova, K.T., Omarova, Z.D., Tulendibayev, A.B., Argimbayeva, T.U., Aubakir, N.A., & Yermekbay, T.T. (2024). Monitoring the spread of avian influenza virus in Kazakhstan. Agrarian Science, (12), 41-44. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-41-44
11. Kabzhanova, A.M., Mukhanbetkaliyev, Y.Y., Yesembekova, G.N., Berdikulov, M.A., & Abdrakhmanov, S.K. (2022). Spatiotemporal analysis of the epizootic situation of animal rabies in Kazakhstan. Bulletin of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, 3(114), 51–58. https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.3(114).1118
12. Agranovsky, A.A. (2021). Structure and expression of large (+)RNA genomes of viruses of higher eukaryotes. Biochemistry (Moscow), 86(3), 248–261. https://doi.org/10.1134/S0006297921030020
13. Mittelholzer, C., & Klimkait, T. (2022). Advances in molecular genetics enabling studies of highly pathogenic RNA viruses. Viruses, 14(12), 2682. https://doi.org/10.3390/v14122682
14. Černý, J., Bolfíková, B.Č., Valdés, J.J., Grubhoffer, L., & Růžek, D. (2014). Evolution of Tertiary Structure of Viral RNA Dependent Polymerases. PLoS ONE, 9(5), e96070. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096070
15. Denison, M.R., Graham, R.L., Donaldson, E.F., Eckerle, L.D., & Baric, R.S. (2011). Coronaviruses: an RNA proofreading machine. Nature Reviews Microbiology, 9(4), 263-274. https://doi.org/10.1038/nrmicro2572
16. Brook, C.E., Shoemaker, T., Bundgaard, I., et al. (2020). Accelerated viral dynamics in bat cell lines, with implications for zoonotic disease severity. eLife, 9, e48480. https://doi.org/10.7554/eLife.48480

17. Sanjuán, R., & Domingo-Calap, P. (2016). Mechanisms of viral mutation. Cellular and Molecular Life Sciences, 73(23), 4433-4448. https://doi.org/10.1007/s00018-016-2299-6
18. Kawasaki, Y., et al. (2023). Comparison of genome replication fidelity between SARS-CoV-2 and influenza A virus in human cells. *Scientific Reports*, 13, 13278. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40463-4
19. Robson, F., Khan, K.S., Le, T.K., et al. (2020). Coronavirus RNA Proofreading: Molecular Basis and Therapeutic Targeting. *Molecular Cell*, 79(5), 710–727. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2020.07.027
20. Dolan, P.T., Whitfield, Z.J., & Andino, R. (2018). Mechanisms and concepts in RNA virus population dynamics and evolution. Annual Review of Virology, 5(1), 69–92. https://doi.org/ 10.1146/annurev-virology-101416-041718
21. Dash, M., Meher, P., Aditya, K., Satapathy, S.S., & Namsa, N.D. (2024). High frequency of transition to transversion ratio in the stem region of RNA secondary structure of untranslated region of SARS-CoV-2. PeerJ, 12, e16962. https://doi.org/10.7717/peerj.16962
22. Te Velthuis, A.J.W., Grimes, J.M., & Fodor, E. (2021). Structural insights into RNA polymerases of negative-sense RNA viruses. *Nature Reviews Microbiology*, 19(5), 303–318. https://doi.org/10.1038/s41579-020-00501-8
23. Gortazar, C., Reperant, L.A., Kuiken, T., de la Fuente, J., & Boadella, M. (2014). Crossing the interspecies barrier: Opening the door to zoonotic pathogens. PLoS Pathogens, 10(6), e1004129. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004129
24. Wells, K., & Clark, N.J. (2019). Host specificity in variable environments. *Trends in Parasitology*, 35(6), 452–465. https://doi.org/10.1016/j.pt.2019.04.001
25. Herfst, S., Böhringer, M., Karo, B., Lawrence, P., & Lewis, N. S. (2017). Drivers of airborne human-to-human pathogen transmission. *Current Opinion in Virology*, 22, 22–29. https://doi.org/10.1016/j.coviro.2016.11.006
26. Plowright, R.K., & Hudson, P.J. (2021). From protein to pandemic: The transdisciplinary approach needed to prevent spillover and the next pandemic. *Viruses*, 13(7), 1298. https://doi.org/10.3390/v13071298
27. Harrison, S.C. (2015). Viral membrane fusion. *Virology*, 479-480, 498–507. https://doi.org/10.1016/j.virol.2015.03.043
28. Escudero-Pérez, B., Lalande, A., Mathieu, C., & Lawrence, P. (2023). Host-pathogen interactions influencing zoonotic spillover potential and transmission in humans. Viruses, 15(3), 599. https://doi.org/10.3390/v15030599
29. Priyadarsini, S.L., Suresh, M., & Huisingh, D. (2020). What can we learn from previous pandemics to reduce the frequency of emerging infectious diseases like COVID-19? Global Transitions, 2, 202–220. https://doi.org/10.1016/j.glt.2020.09.003
30. Jackson, C.B., Farzan, M., Chen, B., & Choe, H. (2022). Mechanisms of SARS-CoV-2 entry into cells. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 23(1), 3–20. https://doi.org/10.1038/s41580-021-00418-x
31. Smith, H.A., Chakraborty, S., Gooley, P.R., Moseley, G.W., & Rawlinson, S.M. (2025). New directions in the multifunctionality of RNA viruses: insights from the rabies virus P-protein. *Current Opinion in Virology*, 73, 101496. https://doi.org/10.1016/j.coviro.2025.101496
32. Aditi, S., & Shariff, M. (2019). Nipah virus infection: A review. *Epidemiology and Infection*, 147, e95. https://doi.org/10.1017/S0950268819000086
33. Ang, B.S.P., Lim, T.C.C., & Wang, L. (2018). Nipah Virus Infection. Journal of Clinical *Microbiology*, 56(6), e01875-17. https://doi.org/ 10.1128/JCM.01875-17
34. Bi, Y., Yang, J., Wang, L., Ran, L., & Gao, G. F. (2024). Ecology and evolution of avian influenza viruses. *Current Biology*, 34(15), R716–R721. https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.05.053
35. Reperant, L.A., Kuiken, T., & Osterhaus, A. D. (2012). Influenza viruses: from birds to humans. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 8(1), 7–16. https://doi.org/10.4161/hv.8.1.18672
36. World Organisation for Animal Health (WOAH). (2009). Sub-Regional Meeting on Zoonoses in Central Asia. Astana (Kazakhstan), 17-19 November 2009. WOAH Publications.
37. Zhou, S., Liu, B., Han, Y., Wang, Y., Chen, L., Wu, Z., & Yang, J. (2022). ZOVER: the database of zoonotic and vector-borne viruses. Nucleic Acids Research, 50(D1), D943–D949. https://doi.org/10.1093/nar/gkab862
38. Sultankulova, K.T., Shynybekova, G.O., Kozhabergenov, N.S., Mukhami, N.N., & Chervyakova, O.V. (2022). The Prevalence and Genetic Variants of the CCHF Virus Circulating among Ticks in the Southern Regions of Kazakhstan. Pathogens, 11(8), 841. https://doi.org/10.3390/pathogens11080841

39. Abdiyeva, K., Turebekov, N., Yegemberdiyeva, R., Dmitrovskiy, A., & Yeraliyeva, L. (2020). Vectors, molecular epidemiology and phylogeny of TBEV in Kazakhstan and Central Asia. Parasites & Vectors, 13(1), 504. https://doi.org/10.1186/s13071-020-04362-1
40. Sultankulova, K.T., Kozhabergenov, N.S., Shynybekova, G.O., Chervyakova, O.V., & Usserbayev, B.S. (2025). Metagenomic detection of RNA viruses of Hyalomma asiaticum ticks in the southern regions of Kazakhstan. Microorganisms, 13(9), 2064. https://doi.org/10.3390/microorganisms13092064
41. Jia, Y., Wang, S., Yang, M., Ulzhan, N., Omarova, K., Liu, Z., Kazkhan, O., & Wang, Y. (2022). First detection of tacheng tick virus 2 in hard ticks from southeastern Kazakhstan. Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi, 28(1), 139–142. https://doi.org/10.9775/kvfd.2021.26453
42. Usserbayev B., et al. (2025). Genetic Variations of Three Kazakhstan Strains of the SARS-CoV-2 Virus. *Viruses,* 17(3), 415. https://doi.org/10.3390/v17030415
43. Kassenov M., et al. (2023). Complete Coding Sequence of a Lineage AY.122 SARS-CoV-2 Virus Strain Detected in Kazakhstan. Microbiology Resource Announcements, 12(7), e00353-23. https://doi.org/10.1128/mra.00353-23
44. Berdikulov M., et al. (2025). Molecular and phylogenetic characterization of Crimean-Congo hemorrhagic fever virus circulating in Kazakhstan. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, 1623822. https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1623822
45. Volynkina A., et al. (2022). Molecular epidemiology and phylogeography of Crimean-Congo hemorrhagic fever virus. *PLOS ONE*, 17(4), e0266177. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266177
46. Mendenhall I.H., et al. (2029). Discovery and Characterization of Novel Bat Coronavirus Sequences from Kazakhstan. *Viruses*, 11(4), 356. https://doi.org/10.3390/v11040356

Information about the authors

F.R. Ikramkulova – corresponding author, master's student, junior researcher, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute, Almaty, Kazakhstan; e-mail: fariza.ikramkulova@bk.ru; ORCID: 0009-0001-4579-3847;
A.M. Malik – PhD, Leading Researcher, Research Institute of "Sustainability of Ecology and Bioresources", Almaty, Kazakhstan; e-mail: azhar.malikkyzy@gmail.com; ORCID: 0000-0001-9060-0111;
M.A. Abdulzhanova – PhD, senior lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: malika.Abdulzhanova@kaznu.edu.kz; ORCID: 0000-0001-7751-2256;
V.V. Kirpichenko – candidate of veterinary sciences, biosafety officer, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute, Almaty, Kazakhstan; e-mail: vlad_92reik@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2494-3826;
P.B. Akshalova – candidate of veterinary sciences, senior researcher, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute, Almaty, Kazakhstan; e-mail: peri.akshalova@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1520-1887;
A.Zh. Kassen – PhD student, junior researcher, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute, Almaty, Kazakhstan; e-mail: dilek.inwincible@gmail.com; ORCID: 0009-0009-9568-0208;
A.S. Nurpeisova – PhD, Deputy General Director for production development and commercialization of scientific research, Kazakh Scientific Research Veterinary Institute, Almaty, Kazakhstan; e-mail: ainurnurpeisova@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7039-5621.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-58-66
UDC 574/577
IRSTI 34.39.51

THE IMPORTANCE OF BIOLOGICAL AGE IN ASSESSING THE HEALTH LEVEL OF UNIVERSITY TEACHERS

E. Kabdolla[1*], A.B. Myrzabayev[1], G.T. Tnimova[2], M.T. Bodeyev [1], N.I. Sabanbayev[1]
[1]Karaganda National Research University named after E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan*
[2] «Bolashaq» Academy, Karaganda, Kazakhstan
[*]Corresponding author: kab-1990@mail.ru

Abstract

The article presents the results of a study on the health status of university teachers. The research included an anonymous survey and an analysis of physiological indicators. A total of 186 individuals participated in the study, of whom 127 were affiliated with the Karaganda Buketov University and 59 with Altai State University. Data collection was carried out during the transition to distance learning amid the COVID-19 pandemic, as well as after its completion. Biological age was evaluated through a comprehensive analysis of body weight, blood pressure, static balance, and subjective self-assessment of health. The calculated individual scores were further interpreted by comparing them with appropriate age standards. It was found that in 22.58% of the examined teachers the aging process was slowed down, in 25% it corresponded to the population norm, whereas in 52.1% accelerated aging was observed. In addition, inter-university differences in the characteristics of aging rates among teachers were identified. Among teachers of the Karaganda Buketov University, the proportion of individuals with an accelerated aging process was 55.9%, whereas among those from Altai State University this indicator was lower, amounting to 44%. The observed differences may be explained by the fact that at Buketov University the study was conducted during the pandemic period. Given that hormonal mechanisms exert different effects on male and female organisms, the rates of aging may also differ substantially. In particular, among male teachers of Buketov University, 79.37% were classified as being in the risk group, while among women this figure was 32.78%. At Altai State University, the corresponding proportions for men and women were 66.67% and 31.58%, respectively. The findings indicate that the pandemic had a significant impact on the health status of university teachers. Morphofunctional differences between male and female organisms may also contribute to these outcomes.

Keywords: physical health, stress, age, biological age, teachers, gender differences.

ЖОҒАРЫ ОҚУ ОРНЫ ОҚЫТУШЫЛАРЫНЫҢ ДЕНСАУЛЫҚ ДЕҢГЕЙІН АНЫҚТАУДАҒЫ БИОЛОГИЯЛЫҚ ЖАСТЫҢ МАҢЫЗЫ

Кабдолла Е.[1*], Мырзабаев А.Б.[1], Тнимова Г.Т.[2], Бөдеев М.Т.[1], Сабанбаев Н.И.[1]
[1]Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті, Қарағанды, Қазақстан*
[2]«Bolashaq» Академиясы, Қарағанды, Қазақстан
[*]Хат-хабар үшін автор: kab-1990@mail.ru

Аңдатпа

Мақалада ЖОО оқытушыларының денсаулық деңгейлері зерттелеген. Зерттеу жұмыстарында оқытушылардан анонимді сауалнама алынды және олардың физиологиялық көрсеткіштері зерделенді. Зерттеуге 186 оқытушы қатысты. Олардың 127-сі Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің оқытушылары, ал 59-ы Алтай мемлекеттік университетінен. Зерттеу жұмыстары қашықтықтан оқуға көшкен пандемия кезінде (Covid-19) және пандемия аяқталған соң жүргізілді. Оқытушылардың биологиялық жастарын есептеп шығару үшін дене салмағы, артериялық қысым, статикалық теп-теңдік пен оқытушының өз денсаулығын бағалау жүйесі қолданылды. Нәтижесінде

университет оқытушыларының биологиялық жастарының дербес көрсеткіштері мен болуы керек жас дәрежесі анықталды. Зерттелген оқытушылардың 22,58% қартаю процесі баяу жүріп жатқан болса, 25,27% нормаға сәйкес, ал 52,1% қартаю процесі қарқынды өтуде. Сонымен қатар, екі университет оқытушыларының қартаю процесінде айырмашылық байқалды. Бөкетов университеті оқытушыларында қартаю процесі 55,9% құраса, Алтай университетінің оқытушыларындағы бұл көрсеткіш 44% болды және оған Бөкетов университетіндегі зерттеу жұмыстарының пандемия кезінде жүргізілгені әсер етті деуге болады. Гормандар еркектер мен әйелдердің ағзаларына әртүрлі әсер ететіндіктен, олардың ағзаларындағы қартаю процесі де әртүрлі болады. Мысалы, Бөкетов университеті ер оқытушыларының тәуекел тобына жататындар 79,37% болса, әйелдерде 32,78% болды. Алтай университетінің ер оқытушыларында бұл көрсеткіштер тиісінше 66,67% және 31,58% құрады. Зерттеу жұмыстары көрсеткендей, оқытушылардың денсаулықтарына пандемия айтарлықтай әсер етеді. Оған еркектер мен әйелдердің ағзаларындағы морфологиялық-функционалдық айырмашылықтар да себеп бола алады.

Кілт сөздер: денсаулық, стресс, жас мөлшері, биологиялық жас, оқытушылар, гендерлік айырмашылық.

ЗНАЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА В ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЯ ЗДОРОВЬЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Кабдолла Е.[1*], Мырзабаев А.Б.[1], Тнимова Г.Т.[2], Бодеев М.Т.[1], Сабанбаев Н.И.[1]

[1]Карагандинский национальный исследовательский университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан*

[2]Академия «Bolashaq», Караганда, Казахстан

[*]Автор для корреспонденции: kab-1990@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования уровня здоровья преподавателей высших учебных заведений. В рамках работы проведено анонимное анкетирование и анализ физиологических показателей. В исследовании приняли участие 186 человек, из которых 127 являлись преподавателями Карагандинского национального исследовательского университета имени академика Е.А. Букетова, 59 – Алтайский государственный университет. Сбор данных осуществлялся в период перехода на дистанционный формат обучения во время пандемии COVID-19, а также после её завершения. Расчёт биологического возраста выполнялся на основе показателей массы тела, артериального давления, статического равновесия и субъективной самооценки состояния здоровья. В результате были определены индивидуальные значения биологического возраста и проведено их сопоставление с должными возрастными нормативами. Установлено, что у 22,58% обследованных процесс старения протекает замедленно, у 25% соответствует популяционной норме, тогда как у 52,1% выявлено ускоренное старение. Дополнительно обнаружены межвузовские различия в характеристиках темпов старения преподавателей. У преподавателей Карагандинского национального исследовательского университета имени академика Е.А. Букетова доля лиц с ускоренным процессом старения составила 55,9%, тогда как у преподавателей Алтайский государственный университет данный показатель был ниже – 44%. Предположительно, на выявленные различия могло повлиять то обстоятельство, что в университете Букетова исследования проводились в период пандемии. Учитывая, что гормональные механизмы оказывают различное влияние на мужской и женский организм, темпы старения также могут существенно различаться. Так, среди мужчин-преподавателей университета Букетова к группе риска были отнесены 79,37%, тогда как среди женщин этот показатель составил 32,78%. У преподавателей Алтайского университета аналогичные показатели у мужчин и женщин составили соответственно 66,67% и 31,58%. Результаты исследования свидетельствуют о том, что пандемия оказала значимое влияние на состояние здоровья преподавателей. Определённую роль в этом могут играть и морфофункциональные различия мужского и женского организма.

Ключевые слова: физическое здоровье, стресс, возраст, биологический возраст, преподаватели, гендерные различия.

Introduction

Human ageing is a universal and regular process characterized by gradualness, irregularity and steady progression, inevitably affecting to a greater or lesser extent all levels of biological organization. The lifespan of a human being and its health condition are closely related to the essence of the ageing process of the organism.

A biological aging process is a change in living systems over a certain period of time, resulting in disturbances of their structure and function, which leads to a decrease in the reserve capacity of most systems of the human organism. In addition, it is accompanied by the formation of diseases associated with the aging process and an increase in mortality rates. [1, 2]. The ageing process is associated with continuous losses in muscle mass, qualitative composition and strength capacity. [3, 4]. In addition, there is the concept of biological age (BA). [5] Biological age is the age of a person's body, not the number of years lived. People themselves are interested in knowing their true age. For this purpose, it is necessary to determine the biological age of a person.

According to experts from the World Health Organization (WHO), the assessment of BA indicators represents an important diagnostic method that makes it possible to determine the rate of aging of an individual and their physical health, taking into account the effects of occupational activity and lifestyle [6, 7, 8].

Meanwhile, the formation of modern higher education, oriented on entering the world educational space, multifaceted transformations in pedagogical practice are accompanied by a radical breakdown of stereotypes in the consciousness, activity and lifestyle of subjects of higher professional education. In connection with the above, the health problem of university teachers is of particular relevance. Health is one of the conditions for effective professional activity of a modern person and is the main, relatively non-specific basis for the productivity of all aspects of labour and general well-being of a person [9, 10, 11]. In this regard, the purpose of this study is to assess the state of physical health of university teachers using an integral method - the method of determining their biological age.

Material and methods of research

The present study is a logical continuation of the authors' long-term investigation of the integral health indicators of university teachers in the Republic, aimed at conducting a comparative analysis of the prenosological health status of participants in the educational process during the period 2012–2026. The unexpectedly declared COVID-19 pandemic significantly altered the measured parameters, and these changes persisted even in the post-pandemic period. The assessment of these transformations and their impact on health indicators constitutes the focus of the present article.

The experiment involved 186 teachers, including 127 people (64 women, 63 men) from Karaganda University and 59 people (21 men and 38 women) from Altai State University. Biological age (BA) was calculated during the period of urgent transition of higher education institutions to distance learning due to the pandemic (Karaganda University) and after its termination during the transition of higher education institutions to the traditional mode of education (Altai State University). The study was conducted at the end of the first semester, during November–December. Physiological health indicators and self-rated health assessed using a standard questionnaire were evaluated and used to determine biological age (BA). The study included apparently healthy teachers who continued to carry out their professional activities. Furthermore, it should be emphasized that the baseline characteristics of the two universities were not identical. Consequently, the findings should be interpreted as reflecting a trend rather than providing definitive evidence of causal relationships or direct comparisons.

To determine the biological age of teachers, we chose the express method of V.P. Voitenko [12]. The choice of this method was justified by the intention to achieve a balance between measurement accuracy and ease of application without the use of expensive laboratory equipment. The main arguments supporting the selection of this methodology include its accessibility and non-invasiveness, consideration of the multifactorial nature of aging, suitability for comparative analysis, and prognostic value. Thus, this method represents a rapid, cost-effective, and comprehensive screening approach for assessing health status and determining the extent to which an individual's lifestyle corresponds to their chronological age.

The logical scheme for estimating BA includes the following stages: calculation of the BA value for a given individual (mathematical formula using a number of physiological indicators and self-assessment of health on a special questionnaire); calculation of the proper value of biological age (PBA) for a given individual; comparison of the obtained (BA) and the proper value (PBA): how many years the subject is ahead or behind his peers in terms of ageing. The obtained value is relative: the point of reference is the population standard - the average value of the degree of ageing (PBA) at a given calendar age (CA) for a given population. This approach allows to rank persons of the same CA by the degree of "age deterioration" and, consequently, by the "stock" of health (I and II ranks - slow ageing, III - BA corresponds to the population standard, IV and V - accelerated ageing).

To calculate BA in this variant we determined: body weight (kg), blood pressure (SBP, DBP and calculated pulse pressure (PP)), inspiratory breath hold (sec), static balancing (SB, sec), and also revealed self-assessment of health using a structures questionnaire (SAH, c.u.). To calculate biological age (BA), the following formulas were used and incorporated into a specially developed computer program (Terentenko A., 2004).

For men:

$$BA=27.0+0.22\cdot SBP-0.15\cdot BHT+0.72\cdot SHS-0.15\cdot SB$$

For women:

$$BA=1.46+0.42\cdot DBP+0.25\cdot BW+0.70\cdot SHS-0.14\cdot SB$$

The assessment of biological age (BA) was performed through a sequential analytical procedure. Initially, individual BA values were obtained for each participant using the previously described equations, followed by their standardization. To evaluate whether the observed level of biological aging corresponded to the participant's chronological age (CA), the calculated BA was compared with the proper biological age (PBA), which represents the population-based reference level of age-related changes. The ratio between BA and PBA (BA/PBA) was used to characterize the relative rate of aging, indicating whether the participant's biological age was above or below the average value expected for individuals of the same age group. In addition, the difference between BA and PBA (BA − PBA) was determined to quantify the extent to which the participant's aging process exceeded or lagged behind the population norm, expressed in years.

The proper biological age (PBA) was calculated using the following formulas:

For men: $PBA=0.629\cdot CA+18.6$

For women: $PBA=0.581\cdot CA+17.3$

Upon completion of the instrumental assessment, all collected measurements were systematically entered into a computerized database. Subsequently, the participating teachers completed a self-assessment questionnaire designed to evaluate their perceived health status.

The questionnaire consisted of 27 standardized items addressing various aspects of health and well-being. In addition, respondents were asked to provide an overall evaluation of their

health by selecting one of four categories: good, satisfactory, poor, or very poor. The questionnaire data were then integrated into the electronic database for further analysis. Based on the combined instrumental and survey data, individual biological age indicators and the level of aging progression were determined for each participant.

The research protocol adhered to internationally recognized ethical principles governing biomedical research involving human participants, including the provisions of the Declaration of Helsinki. Participation in the study was entirely voluntary, and all respondents provided written informed consent authorizing the collection, processing, and scientific use of the obtained information.

Results of the research

The measurements of the basic physiological indicators required for the calculation of biological age (BA) are presented in Table 1. To compare the obtained data, we used a similar study conducted by the authors during the period of traditional university education.

As shown in the table, among male teachers of Karaganda Buketov University (distance learning period), the mean systolic blood pressure (SBP) was 139.4 ± 5.3 mmHg, which was 9.7% higher than in the control group and exceeded normal reference values. At the same time, the diastolic blood pressure (DBP) was 83.8 ± 3.24 mmHg, which was 8.8% higher than in the control group (Table 1). The corresponding average values among teachers of Altai State University (transition to traditional education after the pandemic) were slightly lower: 132.5 ± 3.4 mmHg and 77 ± 2.4 mmHg, respectively.

The mean SBP and DBP values in women were lower than those observed in men across all study groups; however, the highest values among women were also recorded in the group of teachers from Karaganda University.

Table 1. Functional indicators of various body systems and self-rated health (SRH) among teachers during the emergency transition to distance learning and in the post-pandemic period, compared with the control group (PPI)

Functional indicators of various body systems	KarU during the pandemic		AltSU after the pandemic	
	men	women	men	women
SBP mmHg	139,4±5,3	127,3±4,6	132,5±3,4	125,9±4,4
DBP mmHg	83,8±3,2	77±2,6	77±2,4	75,5±2,4
BS (men)	35,1±3,4	-	38,0±4,9	-
SB sec	11,6±2,1	9,1±1,6	11,5±3,1	7,9±1,9
SAH	8,0±2,6	11±1,1	6,5±1,1	9,3±1,3
Note: the changes are significant compared to the M and W KarU data ($p<0.05$)				

The inspiratory breath-holding time (BHT) measured in men demonstrated the following results. Among teachers of Karaganda Buketov University, the mean value was 35.1 ± 3.4 s, whereas among teachers of Altai State University it was 38.0 ± 4.9 s. In the control group, the corresponding value was 54.5 ± 9.11 s, which was 55.2% higher than that observed in the first group.

The most pronounced differences were identified in static balancing (SB), which reflects the functional state of the central nervous system, in both men and women. In male teachers of Karaganda University, SB was 11.6 ± 1.2 s, while among teachers of Altai State University it was also 11.6 ± 1.2 s. In the control group, this parameter reached 18.2 ± 3.4 s, which was 56.9% higher than among teachers of Karaganda University. Among women from Karaganda

University and Altai State University, SB values were 2–2.5 times lower than the corresponding control values.

The obtained self-rated health (SRH) scores demonstrated a slight tendency toward lower values among teachers of Karaganda University and Altai State University (Table 1). Thus, the findings indicate increased strain in the major physiological systems of teachers during the investigated period.

Assessment of the basic physiological indicators, analysis of the self-assessment of the health condition of university teachers, and calculation of individual figures of BA and PBA by the express method of V.P. Voitenko, enabled classification of the obtained results, as shown in Table 2. The average age of the participants was 47.38±0.34 years. Biological age, in turn, reflects the degree of physiological wear and tear of the organism and in comparison with the calendar age testifies to the slowing down of the organism structure (I and II ranks), corresponds to the age population (III rank), or accelerated fasting of the organism (IV and V ranks).

Our calculations have shown (Table 2) that 22,58% of 186 surveyed teachers have slowed down ageing of the organism as compared to the population, a quarter of the surveyed teachers have ageing rates corresponding to those in the population, and the remaining 52,15% have accelerated ageing rates, i.e. are in a state borderline for health.

Further, we determined that there is a significant difference in the obtained ranking figures between the surveyed teachers of the two universities (Table 2). Thus, more than half (55.93%) of teachers at KarU were in the group with accelerated rate of ageing, and less than half (44.0%) of teachers at AltSU. It should be noted that our studies of teachers' BA before the pandemic and transition to the distance learning mode showed a much smaller group of accelerated ageing, this group comprised, on average, up to 20% of all those surveyed [13, 14, 15].

Table 2. Ranking of the BA indicator of teachers of the surveyed universities (%)

n-186	BA ranks (total)				
CA-47,38 ±0,34	I	II	III	IV	V
	8,06 (15)	14,52 (27)	25,27 (47)	22,58 (42)	29,57 (55)
n-127	BA ranks (KarU)				
CA-48,21 ±0,49	I	II	III	IV	V
	6,3 (8)	14,96 (19)	22,83 (29)	20,5 (26)	35,43 (45)
n-59	BA ranks (AltSU)				
CA-46,55 ±0.8	I	II	III	IV	V
	11,9 (7)	13,5 (8)	30,5 (18)	27,1 (16)	16,9 (10)

In connection with the above, there is no doubt that the urgent transition to the distance learning mode, as well as the exit from it, turned out to be a significant stressful load for university teachers, which affected the stressful functioning of the main physiological systems of the organism.

Since it is known that the functioning of male and female organisms differs significantly due to their different hormonal status and social roles, it was interesting to look at the ranking of BA in the gender aspect [16, 17, 18].

The numerical material obtained is reflected in Table 3. As can be seen from the table, out of all the surveyed KarU men, only 11.1% are in the group with delayed aging, about 10% are aging at the pace of the population, and the rest of the surveyed men fall into the risk group for healthy ageing (79.37%).

Table 3. Ranking of biological age of KarU teachers (%)

n-63	BA Men's Ranks				
	I	II	III	IV	V
	1,59 (1)	9,52 (6)	9,52 (6)	19,05 (12)	60,32 (38)
n-64	BA Women's Ranks				
	10,94 (7)	20,31 (13)	35,94 (23)	21,88 (14)	10,94 (7)

A completely different situation is observed in the surveyed KarU women (Table 3). The largest number of female teachers turned out to be in rank III (35.94%), i.e. they age at the same rate as the population. Slightly less number of them are ageing slower (31.25%) and the remaining one-third of female teachers are subject to accelerated ageing (32.78%). And this group of women teachers is 2.4 times smaller than that of men! Thus, the rapid, pandemic related reorganization of the teaching process into distance learning during the pandemic resulted in much more negative impact on the organism of men compared to women, which can be explained, apparently, by the peculiarities of the reaction to stress of the male organism.

We obtained similar trends in the gender aspect in the survey of teachers at AltSU (Table 4).

The table shows that in the group of men 9.52 % of surveyed teachers fell into the I and II ranks, the rate of ageing in this category is slow, which indicates good health reserves. The ageing rate of 23.81% (rank II) of the teachers corresponds to the population standard, which is 2.5 times more than in KarU (Table 3).

Table 4. Ranking of BA indicator of AltSU teachers, men and women (%)

n-21	BA Men's Ranks				
	I	II	III	IV	V
	- (0)	9,52 (2)	23,81 (5)	52,38 (11)	14,29 (3)
n-38	BA Women's Ranks				
	18,42 (7)	15,79 (6)	34,21 (13)	13,16 (5)	18,42 (7)

At the same time, a significant group of male teachers (66.67%) has an accelerated ageing rate, i.e. they are in a borderline state of health; this group, however, is less than in KarU by 16%.

At the same time, we obtained different data for AltSU women than for men. One third (34.21%) of the female teachers surveyed have a slower ageing rate. The same proportion of female teachers meets the population standard, and one third (31.58 per cent) of female teachers with accelerated ageing rate. (Table 4). We obtained similar data in women in KarU (Table 2).

Thus, our study of physical health according to the BA indicator shows the essential role of social environment for optimal functioning of the leading morpho-functional systems of the organism. The most significant stress factor causing the tension of adaptation mechanisms for the organism of a teacher was the urgent transition to the distance form of education, associated with new unlearned forms and methods of teaching, changes in the habitual way of life. This is evidenced by the transition to the health risk group of half of the surveyed teachers. And even the return to the traditional way of teaching, preadaptation, did not return the organism of the examined teachers to the initial physiological positions. It should be especially noted that the male organism reacted more negatively in this stressful situation. It is well established that exposure to stress activates the hypothalamic–pituitary–adrenal (HPA) axis in both males and females, leading to increased secretion of cortisol and adrenaline. Nevertheless, sex-related differences exist in the physiological stress response. In women, estrogens have been shown to mitigate the effects of cortisol, thereby moderating the overall neuroendocrine response to stress [19, 20, 21].

Conclusions

The urgent transition of higher education institutions to the distance form of education in connection with the pandemic and even after the pandemic to the traditional form of education affected physical health according to the biological age indicator - half of the surveyed teachers were in the health risk group.

The obtained results indicate gender differences in the functioning of the leading morpho-functional systems of the organism – the male organism experiences chronic stress to a greater extent.

References:

1. Биологический возраст и старение: возможности определения и пути коррекции: руководство. Кишкун А.А. - 2008. – 976 с. - ISBN 978-5-9704-0786-8.
2. Markelj, N., Kovač, M., Leskošek, B., & Jurak, G. (2024). Occupational health disorders among physical education teachers compared to classroom and subject specialist teachers. Frontiers in Public Health, 12, Article 1390424. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1390424
3. Issayeva S.M. Contemporary view at sarcopenia (literature review) / S.M. Issayeva, M.A. Bissembay // Medicine. – 2019. – V.3(201). - P.61-65.
4. Gao, X., Cheng, M., & Zhang, R. (2024). The relationship between physical activity and the health of primary and secondary school teachers: The chain mediating effects of body image and self-efficacy. BMC Public Health, 24, 562. https://doi.org/10.1186/s12889-024-17914-2
5. С.Г. Абрамович, И.М. Михалевич, А.В. Щербакова, Н.А. Холмогоров. Способ определения биологического возраста человека // Медицинский журнал, 2014, № 1. – с.45-48.
6. Гурьева, А.Б., Алексеева, В.А., Петрова, П.Г., & Николаев, В.Г. (2015). Характеристика биологического возраста женщин-якуток разных возрастных групп. Современные проблемы науки и образования, (6). https://science-education.ru/ru/article/view?id=23818.
7. Westphal, A., Kalinowski, E., Hoferichter, C.J., & Vock, M. (2022). K–12 teachers' stress and burnout during the COVID-19 pandemic: A systematic review. Frontiers in Psychology, 13, 920326. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.920326
8. Grabara, M. (2023). The association between physical activity and musculoskeletal disorders: A cross-sectional study of teachers. PeerJ, 11, e14872. https://doi.org/10.7717/peerj.14872
9. Рахимжанова А.Р., Тнимова Г.Т., Курбанова Г.Д., Карабаева А.Б. Методология и методы исследования интегрального здоровья индивида. – Методическое пособие- практикум. – Павлодар, 2014. – 66 с.
10. Gómez-Domínguez, V., Navarro-Mateu, D., Prado-Gascó, V. J., & Gómez-Domínguez, T. (2022). How Much Do We Care about Teacher Burnout during the Pandemic: A Bibliometric Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(12), 7134. https://doi.org/10.3390/ijerph19127134

11. Yingying, S., Khaizer Omar, M., & Ismail, N. (2025). Job stress and burnout among lecturers: a systematic literature review and meta-analysis. Frontiers in Psychology. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1673812
12. Войтенко В.П. Биологический возраст. Наследственность и старение. / Войтенко В.П., Полюхов А.М., Барбарук Л.Г. и др. Войтенко В.П., Полюхов А.М., Барбарук Л.Г. и др. // Геронтология и гериатрия. - Киев, 1984. – С. 5-15.
13. В.И. Донцов, В.Н. Крутько. Биологический возраст как метод системной оценки онтогенетических изменений состояния организма. - Онтогенез, 2015, том 46, № 5, с. 295–303. - Институт системного анализа РАН 117312, Москва, пр. 60-летия Октября.
14. Салагай, Ю.В. Оценка стресс-факторов в профессиональной деятельности преподавателей высшей школы / Ю.В. Салагай, Л.Г. Галина // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Акмеология образования. Психология обучения. Педагогика. - 2020. - Т. 10, № 3. - С. 299-306.
15. Липатов, В.А., Крамер, Л.А. (2020). Физиологические особенности организма преподавателей в условиях дистанционного обучения. Вестник Санкт-Петербургского университета, 23(4), 532-536.
16. Гусев, В.В., Лемешевский, В.В., Шлайн, В.Е. и др. (2020). Изменение физиологического состояния преподавателей в условиях перехода на дистанционное обучение. Российский физиологический журнал имени И.М. Сеченова, 106(6), 835-840.
17. Agyapong, B., Obuobi-Donkor, G., Burback, L., & Wei, Y. (2022). Stress, Burnout, Anxiety and Depression among Teachers: A Scoping Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(17), 10706. https://doi.org/10.3390/ijerph191710706
18. Zhao, W., Liao, X., Li, Q., Jiang, W., & Ding, W. (2021). The Relationship Between Teacher Job Stress and Burnout: A Moderated Mediation Model. Frontiers in Psychology, 12, Article 784243. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.784243
19. Myrzabayev, A., Kabdolla, Y., Tnimova, G., Sokolova, G., Bodeyev, M., Sivolobova, O., & Kuznetsova, L. (2023). The Pre-Nosological Diagnostics of Integral Health of a University Professor. Bangladesh Journal of Medical Science, 22(2), 432–441. https://doi.org/10.3329/bjms.v22i2.65008
20. Braun, S.S., & Roeser, R.W. (2025). Conceptualizing teachers' occupational health and personal well-being for research on adult SEL: The domain-specific valence model. Social and Emotional Learning: Research, Practice, and Policy. https://doi.org/10.1016/j.sel.2025.100157
21. Tahernejad, S. et al. (2024). Musculoskeletal disorders among teachers: a systematic review and meta-analysis. Frontiers in Public Health. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1399552

Information about the authors

Yerbol Kabdolla – corresponding author, Senior Lecturer at the Department of Sports and Pedagogical Disciplines, E.A. Buketov Karaganda National Research University, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: Kab-1990@mail.ru; ORCID:0009-0004-1879-8572;
Amanay Myrzabayev – Candidate of Pedagogical Sciences, Professor at the Department of Zoology, E.A. Buketov Karaganda National Research University, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: mba_57@mail.ru; ORCID: 0000-0001-9472-8534;
Gulbagiza Tnimova – Doctor of Medical Sciences, Professor at the Department of Pharmaceutical Disciplines, Bolashaq Academy, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: gulbagiza@bk.ru; ORCID: 0000-0001-5661-4579;
Marat Bodeyev – Associate Professor at the Department of Sports and Pedagogical Disciplines, Candidate of Biological Sciences, E.A. Buketov Karaganda National Research University, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: marat_sport@mail.ru; ORCID: 0009-0000-3239-484X;
Sabanbayev Nurbek – Head of the Department of Physical Culture, Teaching Methodology and Sports Training, Master of Pedagogical Sciences, E.A. Buketov Karaganda National Research University, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: Nurbol_c@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1786-6591.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-67-76
UDC 579.266.2:631.147
IRSTI 34.27.23

BALANCE OF NITROGEN AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF VERMICOMPOSTS OBTAINED FROM THE PROCESSING OF COW MANURE, LEAF LITTER, AND MOWN GRASS

E.V. Kornievskaya[1*], A.V. Kurovsky[1], M.S. Jibril[1,2], I.O. Ogra[1,3], I.A. Yange[1,4], M.S.A. Jafrey[1,5], A.S. Babenko[1]

[1]National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*
[2]Federal University Dutse, Dutse, Nigeria
[3]UNESCO International Centre for Biotechnology, Nsukka, Enugu State, Nigeria
[4]University of Mkar, Mkar, Nigeria
[5]BinQain Agro Services, Lahore, Punjab, Pakistan
[*]Corresponding author: e_biotech@mail.tsu.ru

Abstract

The mean total nitrogen content in vermicomposts based on cow manure, a mixture of willow–poplar leaf litter, and mown grass amounted to 1.92, 1.64, and 2.15%, respectively. The increase in total nitrogen content during vermicomposting of cow manure and leaf litter was 39% and 50%, respectively. During vermicomposting of mown grass, the total nitrogen content decreased by 26%. The actual activity of *Azotobacter* bacteria was highest in vermicomposts based on mown grass (98%). For vermicomposts based on leaf litter, this indicator was 85%, while manure-based vermicompost was 70%. Vermicomposts obtained from mown grass surpassed other variants in the content of ammonifiers (10^{10} CFU/g), nitrifiers (6×10^{6} cells/g), and inorganic nitrogen utilizers (1.4×10^{10} CFU/g). A very strong positive correlation (r = 0.9999) was established between the total nitrogen content and the content of ammonifiers in vermicomposts. The balance of total nitrogen content (percentage difference between nitrogen content in vermicomposts and initial mixtures) correlated negatively with the content of inorganic nitrogen utilizers in vermicomposts (r = –0.97).

Keywords: cow manure, willow–poplar leaf litter, mown grass, vermicompost, total nitrogen, ammonifiers, nitrifiers, inorganic nitrogen utilizers, free-living nitrogen-fixing microorganisms.

ІРІ ҚАРА МАЛДЫҢ КӨҢІН, ЖАПЫРАҚ ТӨСЕНІШІН ЖӘНЕ ШАБЫЛҒАН КӨГАЛ ШӨБІН ӨҢДЕУ АРҚЫЛЫ АЛЫНҒАН ВЕРМИКОМПОСТТАРДЫҢ АЗОТ БАЛАНСЫ ЖӘНЕ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Корниевская Е.В.[1*], Куровский А.В.[1], Jibril M.S.[1,2], Ogra I.O.[1,3], Yange I.A.[1,4], Jafrey M.S.A.[1,5], Бабенко А.С.[1]

[1]Томск мемлекеттік Ұлттық зерттеу университеті, Томск, Ресей*
[2]Дутсе федералдық университеті, Дутсе, Нигерия
[3] ЮНЕСКО Халықаралық биотехнология орталығы, Нсукка, Энугу Штаты, Нигерия
[4]Мкар университеті, Мкар, Нигерия
[5]BinQain Agro Services, Лахор, Пенджаб, Пәкістан
[*]Хат-хабар үшін автор:e_biotech@mail.tsu.ru

Аңдатпа

Сиыр көңі, тал-терек жапырақтарының аралас төсеніш қалдықтары және шабылған көгал шөбі негізінде алынған вермикомпосттардағы азоттың орташа жалпы мөлшері тиісінше 1,92; 1,64 және 2,15% құрады. Сиыр көңі мен түскен жапырақтарды вермикомпосттау барысында жалпы азот мөлшерінің артуы тиісінше 39% және 50% болды. Шабылған көгал шөбін вермикомпосттау кезінде жалпы азот мөлшері 26%-ға

төмендеді. *Azotobacter* бактерияларының белсенділігі ең жоғары деңгейде шабылған шөп негізіндегі вермикомпосттарда байқалып, 98% құрады. Жапырақ төсеніштері негізіндегі вермикомпосттарда бұл көрсеткіш 85%, ал көң негізіндегі вермикомпосттарда шамамен 70% болды. Шабылған көгал шөбін өңдеу нәтижесінде алынған вермикомпосттар аммонификаторлар (10^{10} КОЕ/г), нитрификаторлар (6×10^{6} жасуша/г) және бейорганикалық азотты пайдаланушылар ($1{,}4\times10^{10}$ КОЕ/г) мөлшері бойынша басқа нұсқалардан жоғары болды. Вермикомпосттардағы жалпы азот мөлшері мен аммонификаторлар мөлшері арасында өте күшті оң корреляция анықталды (r = 0,9999). Жалпы азот мөлшерінің балансы (вермикомпосттағы азот мөлшері мен бастапқы қоспалардағы азот мөлшері арасындағы пайыздық айырмашылық) вермикомпосттардағы бейорганикалық азотты пайдаланушылар мөлшерімен теріс корреляцияда болды (r = –0,97).

Кілт сөздер: сиыр көңі, тал мен теректің түскен жапырақтары, шабылған көгал шөбі, вермикомпост, жалпы азот, аммонификаторлар, нитрификаторлар, бейорганикалық азотты пайдаланушылар, еркін тіршілік ететін азотфиксациялаушы микроорганизмдер.

БАЛАНС АЗОТА И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРМИКОМПОСТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НАВОЗА КРС, ЛИСТОВОГО ОПАДА И СКОШЕННОЙ ГАЗОННОЙ ТРАВЫ

Корниевская Е.В.[1*], Куровский А.В.[1], Jibril M.S.[1,2], Ogra I.O.[1,3], Yange I.A.[1,4], Jafrey M.S.A.[1,5], А.С. Бабенко[1]

[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

[2]Федеральный университет Дутсе, Дутсе, Нигерия

[3]Международный центр биотехнологии ЮНЕСКО, Нсукка, штат Энугу, Нигерия

[4]Университет Мкара, Мкар, Нигерия

[5]BinQain Agro Services, Лахор, Пенджаб, Пакистан

[*]Автор для корреспонденции: e_biotech@mail.tsu.ru

Аннотация

Среднее общее содержание азота в вермикомпостах на основе коровьего навоза, смешанного ивово-тополиного листового опада и скошенной газонной травы составило 1,92, 1,64 и 2,15% соответственно. Увеличение общего содержания азота в процессе вермикомпостирования коровьего навоза и опавших листьев составило 39% и 50% соответственно. При вермикомпостировании скошенной газонной травы общее содержание азота упало на 26%. Актуальная активность бактерий *Azotobacter* была выше всего в вермикомпостах на основе скошенной травы – 98%. Для вермикомпостов на основе листового опада этот показатель составил 85%, для вермикомпостов на основе навоза – около 70%. Вермикомпосты, полученные при переработке скошенной травы превосходили другие варианты по содержанию аммонификаторов (10^{10} КОЕ/г), нитрификаторов (6×10^{6} кл./г) и утилизаторов неорганического азота (1.4×10^{10} КОЕ/г). Установлена очень сильная положительная корреляция (r=0,9999) между содержанием общего азота и содержанием аммонификаторов в вермикомпостах. Баланс содержания общего азота (процентная разница между содержанием азота в вермикомпостах и исходных смесях) отрицательно коррелировал с содержанием утилизаторов неорганического азота в вермикомпостах (r= –0,97).

Ключевые слова: коровий навоз, опавшая листва ивы и тополя, скошенная газонная трава, вермикомпост, общий азот, аммонификаторы, нитрификаторы, утилизаторы неорганического азота, свободноживущие азотфиксирующие микроорганизмы.

Introduction

Vermicomposting is a natural decomposition process in which earthworms and microorganisms jointly mineralize organic waste, transforming it into a nutrient-rich organic fertilizer [1, 2]. It involves a bio-oxidative process wherein earthworms act in synergy with

bacterial, fungal, and actinomycete communities to stabilize organic waste by altering its physical and biochemical characteristics [3]. The greater part of the organic matter is decomposed, while the residues are converted into a stabilized vermicompost that is rich in humic compounds, hormones, and minerals [4, 5]. Unlike conventional mineral fertilizers, vermicompost provides a multifaceted approach to crop nutrition, being extensively adopted in large-scale organic production systems [6, 7]. Accumulated evidence indicates that its application positively influences seed vigor, plant ontogenesis, and overall productivity, all while preserving the soil's intrinsic quality. Given that intensive agricultural practices often degrade soil structure and biological activity, the use of vermicompost serves as a restorative measure, concurrently enhancing the soil's physical framework, chemical buffering capacity, and microbial diversity [2, 4, 8]. From a technological standpoint, vermicomposting aligns with the principles of a circular economy, offering a low-cost, energy-efficient strategy for the remediation of diverse non-toxic organic residues, with reduced greenhouse gas emissions relative to traditional composting [2, 9, 10]. Beyond its well-recognized role as a complete macronutrient supplier for crops, vermicompost also exhibits bioprotective properties, suppressing soil-borne pathogens and pests, while simultaneously modulating key soil fertility indices, including nitrogen availability and the carbon-to-nitrogen equilibrium.

Among the essential macronutrients, nitrogen warrants particular attention due to its unique biogeochemical behavior within closed vermicomposting systems (e.g., containers isolated from the underlying soil). In such setups, the gross (total) pools of phosphorus and potassium remain largely conserved, as their quantities are inherently determined by the initial substrate composition, with only minor fluctuations driven by microbial turnover. In contrast, the total nitrogen pool is subject to substantial quantitative modification, primarily through the biological reduction of atmospheric dinitrogen – a process catalyzed by specialized diazotrophic microorganisms. It is crucial to emphasize that these observations pertain to the gross elemental reserves, quantified via complete oxidative mineralization of the sample, which represent the theoretical nutrient reservoir available for plant uptake.

Furthermore, nitrogen often acts as a yield-limiting factor in agroecosystems, largely due to the high mobility of its oxidized mineral forms (nitrates), which are prone to leaching beyond the rhizosphere. This inherent instability complicates the selection of fertilizers capable of sustaining a controlled, prolonged release of nitrogen in the root zone. Emerging evidence suggests that certain organic amendments, including vermicompost, may offer a more gradual and synchronized nitrogen supply compared to their synthetic counterparts, thereby mitigating nutrient losses and enhancing use efficiency.

From a biotechnological perspective, the feedstock for vermicomposting can be broadly categorized into two classes based on their recalcitrance. The first comprises readily decomposable, "soft" agricultural residues (e.g., fruit and vegetable waste), characterized by elevated moisture content, low lignocellulose complexity, and a high proportion of soluble saccharides, which facilitate rapid microbial and earthworm activity [11]. The second encompasses lignified, cellulosic materials that are inherently more resistant to degradation. Livestock manure typifies the first category, while woody leaf litter exemplifies the second. Notably, mown grass occupies an intermediate position, harboring both fibrous structural components and nitrogen-/potassium-rich parenchymatous tissues, thus exhibiting features of both groups.

Collectively, fallen foliage and grass clippings constitute the bulk of urban green waste, a voluminous byproduct of municipal and agroecosystem maintenance. The disposal of tree leaf litter, in particular, poses a significant logistical and financial burden; its incineration, still

practiced in some regions, not only squanders a valuable nutrient resource but also contributes to atmospheric particulate pollution [12–15]. In response to these challenges, vermicomposting has emerged as a robust, ecologically sound biotechnology capable of converting this heterogeneous organic stream into a marketable soil conditioner, thereby delivering tangible agro-ecological and economic returns [16, 17].

The primary objective of this investigation was to assess the key agrochemical parameters and microbial community dynamics governing nitrogen turnover during the vermicomposting of willow-poplar leaf litter and grass mowings under the climatic constraints of Western Siberia's southern regions.

Materials and methods

While diverse organic feedstocks have been explored in vermicomposting research globally, livestock manure–particularly from cattle–remains the standard reference substrate [18–27]. Over the past decade, our team has systematically investigated the vermiprocessing of woody leaf litter, a major urban landscaping residue, consistently benchmarking its performance against that of traditional manure-based systems.

This study was designed to compare the physicochemical and microbiological profiles of vermicomposts derived from three distinct feedstocks: cow manure, leaf litter, and mown grass. The nitrogen status of the substrates was evaluated based on total nitrogen concentration in both initial mixtures and final products, and the nitrogen balance, expressed as the percentage change in total nitrogen content post-vermicomposting. Concurrently, the abundance of key nitrogen-cycling trophic groups – including ammonifiers, inorganic nitrogen utilizers, free-living diazotrophs, and nitrifiers – was enumerated using solid and liquid selective media.

For vermicomposting, we used a culture of *Eisenia fetida* earthworms, maintained by the Head of the Department of Agrobiotechnology of Tomsk State University, Professor Andrey Babenko.

The feedstocks utilized comprised air-dried cattle manure (bedding-free), leaf litter, and grass mowings sourced from the Tomsk University Grove. The leaf litter fraction consisted of a composite mixture from *Populus nigra* L. and *Salix fragilis* L., species selected for their elevated foliar mineral nutrient content, with the rationale for their use detailed in our prior publication [28].

Litter collection was conducted annually over a nine-year period between late September and mid-October, under positive mean daily temperatures and prior to permanent snow cover. The harvested material was desiccated at ambient conditions to a stable weight and stored dry. Prior to use, the litter was milled to a 10 × 10 mm particle size. A low-mineralized, air-dried sphagnum peat served as the bulking/sorption agent. The feeding component (manure or litter) and peat were mixed in a 1:1 ratio (100 g dry weight each), yielding a 200 g (approx. 2 L) mixture per experimental unit. The substrates were hydrated with distilled water to 75% moisture content five days prior to inoculation and equilibrated to pH 5.5–5.7. Subsequently, 20 mature *E. fetida* individuals (totaling ~8 g biomass) were introduced into each 7-L ventilated container. The vermicomposting process was conducted in darkness at 21 ± 3°C for a duration of 3.5 to 4 months.

Mown grass (standard cereal grass mixture) was vermicomposted in outdoor piles from June to September for 5 years. The size of the piles was 1 × 1.5 m, with a side height of 15–20 cm. The bottom of the piles was lined with polyethylene film. The same film was used to cover the piles to prevent over-moistening of the substrate during rains. The mown grass was placed in the pile. At the pre-composting stage, the moisture content of the grass was brought to 70–75% with regular tap water and kept for about two weeks. After that, worms were introduced

into the piles at a rate of 400 mature individuals per square meter. The duration of vermicomposting was 2.5–3.5 months.

Post-vermicomposting, the substrates were manually cleared of earthworms and cocoons. For chemical assays, samples were oven-dried at 105°C, and total nitrogen was quantified via spectrophotometric analysis of sulfuric acid (H_2SO_4) mineralizates using a selenium catalyst, as described previously [28–30]. Microbiological analyses were performed on fresh (non-dried) material. Populations of ammonifiers and inorganic nitrogen utilizers were estimated via the limiting dilution technique on meat-peptone agar and starch-ammonia agar, respectively, with results expressed as colony-forming units (CFU) per gram of absolute dry matter. The actual activity of free-living *Azotobacter* spp. was assessed as a percentage using the lump overgrowth method on Ashby's medium. Detailed protocols for these microbiological assays are available in our earlier studies [30, 31].

For each substrate, 12 independent vermicomposting units (biological replicates) were established. From each unit, 3 subsamples were taken and analysed separately (analytical replicates); the reported standard errors reflect the combined variation across all biological and analytical replicates.

Data aggregation and statistical evaluation across the multi-year study involved the Kolmogorov–Smirnov test for normality assessment, followed by one-way analysis of variance (ANOVA) and Pearson's correlation analysis. All tabulated results are expressed as arithmetic means accompanied by the standard error of the mean (SEM).

Results and Discussion

Table 1 presents data on the nitrogen content in three types of substrates subjected to vermicomposting. The highest values of total nitrogen content in the initial mixtures for vermicomposting were recorded in unprocessed mown grass (2.5% of dry mass). The lowest values were characteristic of the total nitrogen content in mixtures of peat and fallen leaves – at the level of one percent. The total nitrogen content in mixtures of peat and cow manure was slightly less than one and a half percent.

The total nitrogen content in the finished vermicomposts, as in the initial mixtures, preserved the order of increasing values across the substrate series: leaf litter – cow manure – mown grass. However, the degree of difference between the variants decreased somewhat (Table 1). This pattern – the reduction in the difference in nitrogen content between variants – is well explained and illustrated by the third indicator presented in the table – the balance of total nitrogen in the substrates.

Table 1. Total nitrogen content in three types of substrates during vermicomposting

Substrate	Initial	Vermicompost	Total nitrogen balance, %
Cow manure	1.38 ± 0.05*	1.92 ± 0.09	38.91 ± 2.47
Leaf litter	1.10 ± 0.01*	1.64 ± 0.07	49.77 ± 6.57
Mown grass	2.38 ± 0.09*	2.15 ± 0.38	– 26.02 ± 2.86*

*Significant difference in comparison with all other groups: * – $p < 0.05$ (from here on)
All values are derived from 12 independent biological replicates, each measured in 3 analytical replicates.

As can be seen from Table 1, the total nitrogen content changed most strongly during vermicomposting in the mixtures of peat and leaf litter – an increase of 50%. For manure, this indicator was somewhat lower – about 40%. After vermicomposting of mown grass, the total

nitrogen balance turned out to be negative – the content of this macronutrient in the vermicomposts was 26% lower than in the initial substrate.

Table 2 presents data on the content of microorganisms of the nitrogen cycle in the vermicomposts under study.

Table 2. Abundance of nitrogen-cycle microorganisms in vermicomposts obtained from the processing of three substrate types

Substrate	Actual activity of *Azotobacter*, %	Ammonifiers, CFU per 1 g, $\times 10^9$	Nitrifiers, cells per 1 g, $\times 10^6$	Inorganic nitrogen utilizers, CFU per 1 g, $\times 10^9$
Cow manure	70.45 ± 5.0*	7.57 ± 0.2	0.88 ± 0.3*	6.99 ± 0.37*
Leaf litter	85.01 ± 2.3*	4.68 ± 0.3*	3.01 ± 0.6*	3.54 ± 0.33*
Mown grass	97.75 ± 1.1*	10.04 ± 1.2	6.30 ± 0.6*	13.8 ± 1.20*

*Significant difference compared with all other groups: * – $p < 0.05$ (same hereafter).
All means and activities are based on 12 independent biological replicates, each assayed in 3 replicates.

From table 2, it is evident that the actual activity of free-living nitrogen-fixing bacteria of the genus *Azotobacter* in vermicomposts obtained from the processing of mown grass approached 100%. In vermicomposts based on cow manure and leaf litter, this indicator was at the level of 70% and 85%, respectively. In the same order, an increase in the number of nitrifiers was observed – from 9×10^5 cells per gram in manure-based vermicomposts to 6×10^6 in vermicomposts based on mown grass.

The lowest content of ammonifiers and inorganic nitrogen utilizers was recorded in vermicomposts based on leaf litter – 4.7×10^9 and 3.5×10^9, respectively. In vermicomposts based on cow manure, the values of these indicators were one and a half to two times higher than in leaf-litter-based vermicomposts, while in vermicomposts based on mown grass, they were an order of magnitude higher than in both leaf-litter-based and manure-based vermicomposts.

Having performed a correlation analysis between the microbiological indicators and the nitrogen content values in the studied substrates, we established a pronounced correlation for two pairs of indicators: "ammonifier content – total nitrogen content in finished vermicomposts, $r = 0.9999$", which indicates an almost functional relationship between the traits, and "inorganic nitrogen utilizer content – total nitrogen balance after vermicomposting, $r = -0.97$".

It should be noted, however, that the high (close to unity) correlation coefficients obtained in this study were calculated on a limited number of substrate variants ($n = 3$). Therefore, they are valuable primarily as indicators of the direction and strength of the relationship under the specific conditions of this experiment, but they cannot be regarded as universal quantitative dependencies. Their biological interpretation requires caution, and the conclusions we have drawn are tentative and need further verification on a wider range of substrates and under more diverse vermicomposting conditions.

How might one attempt to interpret the results obtained in this work? It is obvious that a significant increase in total nitrogen content during the vermicomposting process can only be attributed to the activity of nitrogen-fixing microorganisms. If we compare this indicator in vermicomposts based on leaf litter and manure, such a logical pattern is clearly evident: in substrates where the activity of nitrogen fixers is higher, the increase in total nitrogen content is characterized by higher values. Previously, we demonstrated the same relationship in a comparative study of vermicomposting of three substrate types: manure, poplar leaf litter, and

willow leaf litter [32]. The strong correlation between the number of ammonifiers and the total nitrogen content in vermicomposts is also quite logical, since ammonification is the first obligatory link in the mineralization of organic nitrogen in any substrates and environments.

However, vermicomposts based on mown grass fall out of the general picture. This refers to the negative balance of total nitrogen during vermicomposting. At present, the reasons for this phenomenon remain unclear. Nevertheless, we can make certain assumptions in this regard. We believe that the strong negative correlation between the increase in total nitrogen content during vermicomposting and the number of microorganisms that utilize inorganic nitrogen does not reflect the real negative influence of microorganisms of this group on the nitrogen balance. Most likely, this relationship is indirect. That is, inorganic nitrogen utilizers are probably more abundant in those substrates where there is a greater number of mineral forms of nitrogen – ammonium and nitrates (substrate-stimulated growth of microbial numbers). Even without additional chemical analysis of mobile forms of nitrogen, it is quite obvious that, based on the highest values of the number of ammonifiers and nitrifiers, the highest concentrations of nitrates and ammonium should be present in the processed mown grass. However, these forms of nitrogen (especially nitrates) are very mobile and extremely poorly retained in soil or other substrates. The technology of vermicomposting of mown grass in our experiments was maximally approximated to industrial tasks – obtaining a finished product directly at the sites of waste generation, in outdoor piles. Although these piles were equipped with insulating materials, it is most likely completely impossible to prevent the leaching of nitrates from the piles into the surrounding soil under real (non-laboratory) conditions. One cannot also exclude the mechanism of nitrogen loss resulting from the fact that under certain conditions (unfavorable for vermicomposting) in substrates in outdoor piles, the activity of denitrifying microorganisms may increase. These organisms act as antagonists to nitrogen fixers in terms of shifting the total nitrogen balance either toward an increase (when nitrogen fixers prevail) or toward a decrease (when denitrifiers prevail). However, it should be emphasized that the proposed explanations (i.e. both nitrate leaching and enhanced denitrification) remain working hypotheses and require rigorous experimental verification. In addition to monitoring important physicochemical parameters like pH and substrate moisture content, a thorough examination of the dynamics of mineral nitrogen forms (ammonium and nitrate) during the whole vermicomposting process is required to validate these hypotheses. To make firm conclusions on the causes of nitrogen losses, direct measurements of gaseous nitrogen emissions (such as N_2O and N_2) from grass windrows under actual conditions would be ideal.

Conclusion

Overall, the results obtained in this work allow us to state that all types of the studied food substrates (cow manure, leaf litter, mown grass) are good sources of total nitrogen for vermicomposting. The total nitrogen content in all vermicomposts obtained in our experiments falls within the generally accepted ranges for this indicator [33–36]. However, the observed disparity in nitrogen balance between the substrates underscores the critical role of initial feedstock quality, particularly the carbon-to-nitrogen ratio and the bioavailability of labile organic fractions, in steering the direction of nitrogen transformation. Woody leaf litter is the most promising substrate in terms of increasing the total nitrogen content in finished vermicomposts, which, in combination with the enormous volumes of this type of waste, allows us to consider vermiprocessing of leaf litter as an ecological biotechnology for the return of nitrogen to agroecosystems. Mown grass is advisable to use for obtaining vermicomposts with the highest content of total and (presumably) mineral nitrogen. The exceptionally high abundance of nitrifiers and inorganic nitrogen utilizers in grass-derived vermicomposts, while

advantageous for rapid mineralization, simultaneously creates a potential vulnerability to nitrate leaching under open-air processing conditions. Addressing this trade-off through the optimization of bulking agents, moisture regimes, or the introduction of specific microbial consortia could represent a promising avenue for enhancing nitrogen conservation in vermicomposting systems. To effectively address these challenges, future research must shift toward a deeper understanding of the underlying microbial community dynamics and molecular mechanisms. Utilizing advanced metagenomic sequencing to track the temporal successions of functional microbial groups could reveal how specific operational parameters influence the expression of nitrogen-cycling genes (such as amoA, nirS, and nosZ). This molecular-level insight will provide a predictive framework for nitrogen behavior, enabling the development of customized microbial inoculants tailored to the unique biochemical profiles of mown grass and leaf litter. Furthermore, transforming these findings into viable industrial biotechnologies requires a broader focus on ecological sustainability and process optimization. Evaluating the total carbon footprint and gaseous emissions–specifically nitrous oxide and ammonia–through comprehensive life cycle assessments (LCA) is essential for validating the green credentials of the process. On a practical level, investigating the co-composting of these distinct matrices represents a vital frontier; strategically blending high-nitrogen grass with carbon-rich leaf litter could engineer a self-buffering system that maximizes nutrient retention, balances the carbon-to-nitrogen ratio, and minimizes environmental risks on a commercial scale. However, further improvement of vermicomposting technologies and scientific research aimed at minimizing nitrogen losses during the processing of mown grass in vermiculture are necessary.

References:

1. Pramanik P., Chung Y.R. Changes in fungal population of fly ash and vinasse mixture during vermicomposting by *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida*: Documentation of cellulase isozymes in vermicompost // Waste Management. – 2011. – Vol. 31. – P. 1169–1175. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.12.017

2. Sharma K., Garg V.K. Vermicomposting of waste: A zero-waste approach for waste management // Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches. – 2019. – Vol. 1. – P. 133–164. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00010-4

3. Gomez-Brandon M., Dominguez J. Recycling of solid organic wastes through vermicomposting: Microbial community changes throughout the process and use of vermicompost as a soil amendment // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. – 2014. – Vol. 44(12). – P. 289–312. https://doi.org/ 10.1080/10643389.2013.763588

4. Hussain N., Abbasi S.A. Efficacy of the vermicomposts of different organic wastes as "clean" fertilizers: State-ofthe-art. // Sustainability. – 2018. – Vol. 10(4). – P. 1205. https://doi.org/ 10.3390/su10041205

5. Dhadse S., Khan S. Microbial-assisted rapid vermistabilization of paddy straw residue: a sustainable resource recovery approach. // Discover Agriculture. – 2025. – Vol. 3. – P. 265. https://doi.org/10.1007/s44279-025-00452-9

6. Dominguez J., Edwards C.A. Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. // Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. – P. 27–40

7. Ferreira P.H.F., Cruz V.H., Frias Y.A., Barretto V.C. de M., Lopes P.R.M. Vermicompost: a pathway to transform organic waste into substrate for seedling production. // Discover Agriculture. – 2025. – Vol. 3. – P. 166. https://doi.org/10.1007/s44279-025-00326-0

8. Chowdhury A., Sarkar A. Vermicomposting–The sustainable solid waste management. // Waste Management and Resource Recycling in the Developing World. – 2022. – Vol. 1. – P. 701–719. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90463-6.00013-0

9. Sharma K., Garg V.K. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). // Bioresource Technology. – 2018. – Vol. 24(8). – P. 7829–7836. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101

10. Raimondo M., Simeone G. Di R., Coppola G.P., Zaccardelli M., Caracciolo F., Rao M.A. Economic benefits and soil improvement: Impacts of vermicompost use in spinach production through industrial symbiosis. // Journal of Agriculture and Food Research. – 2023. – Vol. 14. – P. 100845. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100845
11. Cazier E.A., Pham T., Cossus L., Abla M., Ilc T., Lawrence Ph. Exploring industrial lignocellulosic waste: Sources, types, and potential as high-value molecules. // Waste Management. – 2024. – Vol. 188. – P. 11–38. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.07.029
12. Porichha G.K., Hu Y., Rao K.T., Xu Ch.Ch. Crop residue management in India: Stubble burning vs. other utilizations including bioenergy. // Energies. – 2021. – Vol. 14(14). – P. 4281. https://doi.org/10.3390/en14144281
13. Lan K., Zhang B., Yao Y. Circular utilization of urban tree waste contributes to the mitigation of climate change and eutrophication. // One Earth. – 2022. – Vol. 5. – P. 944–957. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.07.001
14. Parzych A. Urban Leaf Litters as a Potential Compost Component. // J. of Ecological Engineering. – 2022. – Vol. 23(4). – P. 250–260. https://doi.org/10.12911/22998993/146327
15. Vargas-Soplín A.J., Meyer-Aurich A., Prochnow A., Kreidenweis U. Alternative uses for urban autumn tree leaves: A case study in profitability and greenhouse gas emissions for the city of Berlin. // Journal of Cleaner Production. – 2024. – V. 470. – P. 143290. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143290
16. Narula G.B., Soni K., Vadakan A.B., Sharma Sh., Notnani P., Ghai N., Kanika G. Bio-organic approach for monitoring the plant growth for sustainable agriculture. // Journal of Agriculture and Applied Biology. – 2023. – Vol. 4(2). – P. 161–173. https://doi.org/10.11594/jaab.04.02.06
17. Gnanasekaran R., Jerin R.S., Dhanalakshmi M., Abinaya M., Priyadharshini B., Sharmilee D., Udayamathi M. Utilization of *Lagerstroemia speciosa* dry leaf litter combined with cattle dung for the production of enriched vermicompost–a possibility of valorization. // International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture. – 2023. – Vol. 12(4). – P. 699–708. https://doi.org/10.30486/IJROWA.2023.1977455.1580
18. Jayakumar P., Natarajan S. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. // Springerplus. – 2013. – Vol. 1. – P. 1–26. https://doi.org/10.1186/2193-1801-1-26
19. Karthikeyan M., Gajalakshmi S., Abbasi S.A. Effect of storage on the properties of vermicompost generated from paper waste: With focus on pre-drying and extent of sealing. // International Journal of Energy and Environmental Engineering. – 2014. – Vol. 5. – P. 291– 301. https://doi.org/0.1007/s40095-014-0135-z
20. Emperor G.N., Kumar K. Microbial population and activity on Vermicompost of *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia fetida* in different concentrations of tea waste with cow dung and kitchen waste mixture. // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2015. – Vol. 4(10). – P. 496–507
21. Chen Y., Chang S.K.C., Chen J., Zhang Q., Yu H. Characterization of microbial community succession during vermicomposting of medicinal herbal residues. // Bioresource Technology. – 2018. – Vol. 249. – P. 542–549. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.021
22. Gopalakrishnan S., Vadlamudi S., Bandikinda P., Sathya A., Vijayabharathi R., Rupela O., Kudapa H., Katta K., Varshney R. K. Evaluation of *Streptomyces* strains isolated from herbal vermicompost for their plant growth-promotion traits in rice. // Microbiological Research. – 2014. – Vol. 169. – P. 40–48. https://doi.org/ 10.1016/j.micres.2013.09.008
23. Nweke I.A. Plant nutrient release composition in vermicompost as influenced by *Eudrilus eugenae* using different organic diets. // Journal of Ecology and the Natural Environment. –2013. – Vol. 5(11). – P. 346–351. https://doi.org/10.5897/JENE2013.0401
24. Ramos R.F., Santana N.A., de Andrade N., Romagna I.S., Tirloni B., Silveira A.O., Domínguez J., Jacques R.J.S. Vermicomposting of cow manure: Effect of time on earthworm biomass and chemical, physical, and biological properties of vermicompost. // Bioresource Technology. – 2022. – Vol. 345. – P. 126572. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126572
25. Pradnya I.N., Am A.I., Pradani H.R. Effects of *Eudrilus eugeniae* Worms and Cow Manure on the Vermicompost Process of Household Organic Waste. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – Vol. 1203. – P. 012052. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1203/1/012052
26. Molavi F., Ebrahimi A.A., Meibodi M.N., Ehrampoush M.H., Eslami H., Mokhtari M. Effects of different vermicomposting process with cattle manure in the removal of sulfamethoxazole and trimethoprim antibiotics. // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2024. – Vol. 14. – P. 20287–20299. https://doi.org/10.1007/s13399-023-04264-z

27. Yazdi F.G., Mokhtari M., Meibodi M.N., Sefidkar R., Hatami B., Molavi F., Ghafourzadeh M., Golshiri A., Ebrahimi A.A. Bioconversion of cow manure through vermicomposting: effects of tylosin concentration on the weight of worms and manure quality. // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 12575. https://doi.org/10.1038/s41598-024-62839-w
28. Kurovsky A.V., Petrochenko K.A., Godymchuk A.Y. Physicochemical aspects of recycling tree leaf litter in the south of Western Siberia by the *Eisenia fetida* (Savigny) vermiculture. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 226. – P. 012009. https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012009
29. Kornievskaya E., Kurovsky A., Babenko A., Petrochenko K., Sechko O. Microbial structure of nitrogen utilizers in *Populus nigra* L. compost and vermicompost // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 433. – P. 012001. https://doi:10.1088/1755-1315/433/1/012001
30. Kurovsky A., Kornievskaya E., Gummer Ya., Babenko A., Saratchandra Babu M. The balance of nitrogen forms and number of microorganisms of the nitrogen cycle in vermicomposts based on leaf litter and cow manure // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 935. – P. 012002. https://doi: 10.1088/1755-1315/935/1/012002
31. Adhikary S. Vermicompost, the story of organic gold: A review. // Agricultural Sciences. – 2012. – Vol. 3. – P. 905–917
32. Kurovsky A., Kornievskaya E., Gummer Ya., Jibril M.S., Ogra I.O., Babenko A. The Comparison of the Vermicomposting of Cattle Dung and Leaf Litter as Sustainable Ways of Increasing the Nitrogen Concentration for Plant Nutrition and Soil Recovery // Organic Fertilizers – Their Role in Sustainable Agriculture. – London: IntechOpen Limited, 2025. – P. 1–11.
33. Kaushik P., Garg V.K. Vermicomposting of mixed solid textile mill sludge and cow dung with the epigeic earthworm *Eisenia fetida* // Bioresource Technology. – 2003. – Vol. 90, No 3. – P. 311–316
34. Suthar S. Bioremediation of domestic sewage sludge through vermitechnology // Environmental Monitoring and Assessment. – 2009. – Vol. 155, No 1-4. – P. 263–274.
35. Pan F., Zhang J., Tang J., Chen B. Soil aggregate and organic nitrogen distributions as influenced by vermicompost application in vegetable greenhouse. // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – P. 22407. https://doi.org/10.1038/s41598-025-06286-1
36. Zheng G., Hao X., Hong B., Jiang D., Qian H., Bai L. Thermophilic-vermicomposting enhances nitrogen retention and reduces greenhouse gas emissions via microbial gene regulation. // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2026. – Vol. 207. – P. 106231. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2025.106231

Information about the authors

E.V. Kornievskaya – Senior Lecturer of the Department of Agrobiotechnologies, Tomsk State University, Tomsk, Russia; e-mail:e_biotech@mail.tsu.ru; ORCID: 0009-0006-5483-6809;
A.V. Kurovsky – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agrobiotechnologies, Tomsk State University, Tomsk, Russia;e-mail:a.kurovskii@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-2362-5578;
M.S. Jibril – PhD-student, Department of Agrobiotechnologies, Tomsk State University, Tomsk, Russia; Lecturer and Researcher, Federal University Dutse, Dutse, Nigeria; e-mail: jibrilmohammedsani@gmail.com; ORCID: 0009-0000-9303-2754;
I.O. Ogra – PhD-student, Department of Agrobiotechnologies, Tomsk State University, Tomsk, Russia; Research Associate, UNESCO International Centre for Biotechnology, Nsukka, Enugu State, Nigeria; e-mail:ograisrael@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7121-0713;
I.A. Yange – PhD-student, Department of Agrobiotechnologies, Tomsk State University, Tomsk, Russia; Assistant Lecturer, University of Mkar, Mkar, Nigeria; e-mail:Yangeatese@gmail.com; ORCID:0000-0001-5798-802X;
M. S. A. Jafrey – PhD-student, Department of Agrobiotechnologies, Tomsk State University, Tomsk, Russia; Chief Consultant Agribusiness, BinQain Agro Services, Lahore, Punjab, Pakistan; e-mail: safeer.jafrey@gmail.com; ORCID: 0009-0000-1662-4721;
A.S. Babenko – Doctor of Biological Sciences, Head and professor of the Department of Agrobiotechnologies, Tomsk State University, Tomsk, Russia; e-mail: andrey.babenko.56@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1481-629X.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-77-89
УДК 60; 636.09
МРНТИ 34.27.29; 34.27.51

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА КОРМОВЫХ ПРОБИОТИКОВ НА ОСНОВЕ *BACILLUS SUBTILIS* С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛИОФИЛИЗАЦИИ

Абдулжанова М.А.[1*], Бахытжан Н.Н.[1, 2]
[1]НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», Алматы, Казахстан*
[2]КГУ «Общеобразовательная школа №9» УО города Алматы, Алматы, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: malika.abdulzhanova@kaznu.edu.kz

Аннотация

Данное исследование было проведено с целью оценки биотехнологического потенциала штамма *Bacillus subtilis* А-12 для разработки пробиотических кормовых добавок. В качестве основного метода хранения для обеспечения стабильности пробиотической биомассы была использована лиофилизация. В ходе исследования была оценена лиофилизационная толерантность штамма *B. subtilis* А-12 с использованием различных составов криопротекторных сред. В частности, были протестированы среда на основе желатина, сахарозы и молока, среда на основе сахарозы, среда на основе молока, среда на основе желатина и сахарозы и среда на основе желатина.

Результаты показали, что жизнеспособность клеток *B. subtilis* А-12 после лиофилизации в значительной степени зависела от состава криопротекторной среды. Среди испытанных составов среда на основе желатина и сахарозы обеспечивала наибольшую жизнеспособность клеток после лиофилизации и показала статистически значимое преимущество по сравнению со средами без углеводов ($p < 0,05$). Хотя количество жизнеспособных клеток после лиофилизации уменьшилось примерно на 25-35%, дальнейшие потери составили всего 2-5% при хранении в течение шести месяцев при температуре 4°C. Это свидетельствует о долгосрочной стабильности полученной лиофилизированной биомассы.

Кроме того, было установлено, что спорообразующая природа штамма *B. subtilis* А-12 повышает его устойчивость к дегидратации и тепловому стрессу, что положительно влияет на стабильность лиофилизированного препарата. В результате исследования была разработана экспериментальная пробиотическая кормовая добавка на основе лиофилизированной биомассы *B. subtilis* А-12. Полученные данные свидетельствуют о перспективности разработанной технологии для практического применения и обосновывают необходимость оценки ее эффективности *in vivo* на животных моделях в будущем.

Ключевые слова: *Bacillus subtilis*, пробиотики, лиофилизация, криопротекторные среды, жизнеспособность, кормовые добавки.

BACILLUS SUBTILIS НЕГІЗІНДЕ ЛИОФИЛИЗАЦИЯ ӘДІСІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, АЗЫҚТЫҚ ПРОБИОТИКТЕРДІ БИОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ӘЗІРЛЕУ

Абдулжанова М.А.[1*], Бахытжан Н.Н.[1, 2]
[1]«Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан*
[2]«№9 жалпы білім беретін мектеп» КММ, Алматы қаласы Білім басқармасы, Алматы, Қазақстан
[*]Хат-хабар үшін автор: malika.abdulzhanova@kaznu.edu.kz

Аңдатпа

Бұл зерттеу *Bacillus subtilis* А-12 штаммының негізінде пробиотикалық жемшөптік қоспаларды әзірлеу мақсатындағы биотехнологиялық әлеуетін бағалауға арналған. Пробиотикалық биомассаның тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін негізгі сақтау әдісі ретінде лиофилизация қолданылды. Зерттеу барысында *B. subtilis* А-12 штаммының лиофилизацияға төзімділігі әртүрлі криопротекторлық орта

құрамдарын пайдалана отырып бағаланды. Атап айтқанда, желатинді-сахарозалы-сүтті орта, сахарозалы орта, сүтті орта, желатинді-сахарозалы орта және желатинді орта сыналды.
Нәтижелер *B. subtilis* А-12 жасушаларының лиофилизациядан кейінгі өміршеңдігі қорғаныш ортаның құрамына едәуір тәуелді екенін көрсетті. Сыналған нұсқалар ішінде желатин мен сахароза негізіндегі орта лиофилизациядан кейінгі ең жоғары жасуша өміршеңдігін қамтамасыз етті және көмірсусыз орталармен салыстырғанда статистикалық тұрғыдан сенімді артықшылық көрсетті ($p < 0,05$). Лиофилизация нәтижесінде тіршілікке қабілетті жасушалар саны бастапқыда шамамен 25-35% төмендегенімен, 4°C температурада алты айға дейін сақтау барысында қосымша жоғалулар небәрі 2-5% деңгейінде болды. Бұл алынған лиофилизделген биомассаның ұзақ мерзімді тұрақтылығын дәлелдейді.
Сонымен қатар, *B. subtilis* А-12 штаммының спора түзуші табиғаты оның дегидратация мен термиялық стресс жағдайларына төзімділігін арттырып, лиофилизделген препараттың тұрақтылығына оң әсер ететіні анықталды. Зерттеу нәтижесінде *B. subtilis* А-12 лиофилизделген биомассасы негізінде эксперименттік пробиотикалық жемшөптік қоспа әзірленді. Алынған деректер әзірленген технологияның практикалық қолдану үшін перспективалы екенін көрсетеді және алдағы уақытта жануар модельдерінде in vivo тиімділігін бағалау қажеттігін негіздейді.

Кілт сөздер: *Bacillus subtilis*, пробиотиктер, лиофилизация, криопротекторлық орталар, өміршеңдік, жемдік қоспалар.

BIOTECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF FEED PROBIOTICS BASED ON *BACILLUS SUBTILIS* USING FREEZE-DRYING

M. Abdulzhanova[1*], N. Bakhytzhan[1, 2]
[1]NJC "Al-Farabi Kazakh national university", Almaty, Kazakhstan*
[2]MPI "Secondary School No. 9", Department of Education of Almaty, Almaty, Kazakhstan
[*]Corresponding author: malika.abdulzhanova@kaznu.edu.kz

Abstract

This study was conducted to assess the biotechnological potential of the *Bacillus subtilis* A-12 strain for the development of probiotic feed additives. Lyophilisation was employed as the primary storage method to ensure the stability of the probiotic biomass. During the study, the lyophilisation tolerance of the *B. subtilis* A-12 strain was assessed using various cryoprotective medium compositions. Specifically, a gelatin–sucrose–milk medium, a sucrose medium, a milk medium, a gelatin–sucrose medium, and a gelatin medium were tested.
The results showed that the post-lyophilisation viability of *B. subtilis* A-12 cells was significantly dependent on the composition of the protective medium. Among the tested formulations, the gelatin- and sucrose-based medium provided the highest cell viability after lyophilisation and showed a statistically significant advantage compared with carbohydrate-free media ($p < 0.05$). Although the number of viable cells decreased by approximately 25-35% following lyophilisation, further losses during storage for up to six months at 4°C were only 2-5%. This demonstrates the long-term stability of the obtained lyophilised biomass.
Furthermore, the sporulating nature of the *B. subtilis* A-12 strain was found to enhance its resistance to dehydration and thermal stress, positively affecting the stability of the lyophilised preparation. As a result of the study, an experimental probiotic feed additive based on lyophilised *B. subtilis* A-12 biomass was developed. The obtained data indicate that the developed technology is promising for practical application and justify the need to assess its in vivo efficacy in animal models in the future.

Keywords: *Bacillus subtilis*, probiotics, freeze-drying, cryoprotective media, cell viability, feed additives.

Введение

Растущий спрос на устойчивое и не содержащее антибиотиков животноводство стимулировал значительные исследования пробиотических кормовых добавок в качестве натуральной альтернативы традиционным стимуляторам роста. Среди них особое внимание привлекает пробиотическая бактерия *Bacillus subtilis*. Благодаря

способности к спорообразованию *B. subtilis* рассматривается как перспективный пробиотический микроорганизм для животноводства [1].

Недавние исследования продемонстрировали многогранные преимущества пробиотиков на основе бактерий рода *Bacillus* в питании скота. Одно из недавних исследований показало, что добавление в рацион штамма *Bacillus subtilis* PS-216 значительно улучшило показатели роста, коэффициент конверсии корма, состав кишечной микробиоты, иммунные параметры и качество мяса у бройлерных цыплят, подчеркнув его потенциал в качестве устойчивой альтернативы антибиотическим стимуляторам роста в птицеводстве [2].

В другом исследовании было продемонстрировано улучшение морфологии кишечника, повышение экспрессии иммунных генов и общее повышение численности полезных микроорганизмов у бройлеров за счет добавления в корма двух штаммов *B. subtilis* [3].

В системах жвачных животных пробиотики на основе *Bacillus* улучшили усвояемость клетчатки в кормовых рационах для бычков *Bos indicus*, что указывает на улучшенное усвоение питательных веществ и потенциальные преимущества в продуктивности крупного рогатого скота, получающего корма с высоким содержанием клетчатки [4].

Добавление *B. subtilis* также повышает яйценоскость и качество яичной скорлупы у кур-несушек, одновременно модулируя микробный профиль слепой кишки, что может принести пользу предприятиям по производству яиц, ориентированным на качество продукции и здоровье животных [5].

Всесторонние обзоры подчеркивают ведущую роль пробиотиков на основе бактерий рода *Bacillus* в улучшении здоровья животных за счет модуляции микробиома кишечника, усвоения питательных веществ и повышения иммунной функции [6-10]. Актуальность использования пробиотиков на основе бактерий *Bacillus* подтверждают и другие исследования, которые изучали механизмы воздействия бактерий на повышение продуктивности и благополучия скота [1, 9, 10]. Полученные данные подтверждают перспективность использования пробиотиков в качестве компонентов устойчивого животноводства [11, 12].

Результаты этих исследований подчеркивают сельскохозяйственную ценность кормовых добавок на основе *B. subtilis* для поддержки устойчивого животноводства, улучшения показателей продуктивности и укрепления здоровья животных. Кроме того, они указывают на необходимость дальнейших исследований влияния конкретных штаммов, оптимальных стратегий добавления и механизмов действия.

Научная новизна данного исследования заключается в комплексной оценке стабильности процесса лиофилизации для ранее охарактеризованного пробиотического штамма *B. subtilis* А-12 [13]. Для этой цели были использованы различные комбинации криопротекторных сред, а также разработана технологическая схема производства лиофилизированной биомассы для дальнейшего использования в кормовых добавках.

В отличие от ранее опубликованных исследований [1, 5, 9, 10], в данном исследовании был проведен сравнительный анализ криопротекторных сред, эффективных именно для штамма *B. subtilis* А-12, а также оценена стабильность биомассы в условиях длительного хранения, что имеет практическое значение для кормовой биотехнологии.

Материалы и методы исследования

Микроорганизмы и условия культивирования

В качестве биологического объекта исследования использовался пробиотический штамм *B. subtilis* А-12, который был получен ранее [13]. Штамм поддерживался путем последовательного пассирования и культивировался в аэробных условиях в питательном бульоне, подходящем для роста бацилл. Культивирование проводилось для получения высокоплотной бактериальной суспензии перед последующей обработкой.

Для минимизации кислотного стресса и повышения выживаемости клеток во время последующей лиофилизации pH культуральной среды регулировали до нейтрального значения (pH 7,0) путем добавления стерильных 10% растворов цитрата натрия и бикарбоната натрия, как рекомендовано для приготовления пробиотиков перед дегидратацией [8]. После чего культуральную среду центрифугировали, а полученную биомассу ресуспендировали в криопротекторной среде в соотношении 1:1 (об/об).

Выбор криопротекторных сред для лиофилизации

Для оценки устойчивости *B. subtilis* А-12 к лиофилизации были исследованы несколько сред, состоящих из крио- и ксеропротекторных агентов, включая желатиново-сахарозно-молочную среду (желатин - 5 г, сахароза - 5 г, сухое обезжиренное молоко - 8 г, дистилированная вода - 82 мл), сахарозную среду (сахароза - 5 г, дистилированная вода - 95 мл), молочную среду (лактоза - 1 г, сухое обезжиренное молоко - 20 г, дистилированная вода - 80 мл), желатиново-сахарозную среду (желатин - 5 г, сахароза - 10 г, дистилированная вода - 85 мл) и желатиновую среду (желатин - 5 г, дистилированная вода - 95 мл). Выбор крио- и ксеропротекторов основывался на их известной способности стабилизировать клеточные мембраны и белки во время дегидратации за счет сохранения остаточной влаги и повышения внутриклеточного осмотического давления [8, 14-16].

Процедура лиофилизации

Лиофилизация проводилась с использованием полочной лиофилизационной сушилки (LyoQuest-85, Испания) в вакуумных условиях. Процесс состоял из трех основных этапов: замораживание, первичная сушка и вторичная сушка. Замораживание проводилось путем постепенного снижения температуры от комнатной до −40°C с контролируемой скоростью понижения, после чего следовал период выдержки для обеспечения полного затвердевания. Первичная сушка проводилась при пониженном давлении, при этом температура на полке постепенно повышалась до −20°C для удаления несвязанной воды путем сублимации. Вторичная сушка включала дальнейшее повышение температуры до +35°C для снижения остаточной влажности до 2,5-4,0%.

Конечный высушенный продукт герметизировали в асептических условиях в стерильных стеклянных флаконах и хранили при 4°C. Жизнеспособность клеток после лиофилизации и в течение шести месяцев хранения определяли путем посева серийных разведений на питательный агар после регидратации. Параметры лиофилизации и оценка жизнеспособности проводились в соответствии с установленными протоколами стабилизации пробиотиков [17, 18].

Лиофилизированная биомасса *B. subtilis* А-12, полученная в оптимальных криопротекторных условиях, была использована для производства экспериментальной пробиотической кормовой добавки.

Статистический анализ

Все эксперименты проводились в трех независимых биологических повторах (n=3), результаты представлены как среднее значение ± стандартное отклонение (SD). В качестве количественной переменной отклика использовалось количество жизнеспособных клеток *B. subtilis* А-12 до лиофилизиации, после лиофилизации и в процессе хранения. Учитывая небольшой размер выборки, тесты на нормальность распределения были ограничены и использовались в качестве приблизительной оценки. Основное внимание уделялось сравнительному анализу средних значений. С учетом малого объема выборки тесты на нормальность распределения (Шапиро-Уилка [19]) и однородность дисперсий (тест Левена [20]) использовались с ограничениями и носили ориентировочный характер.

Для оценки различий между группами использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) при соблюдении соответствующих условий. В случае нарушения этих условий использовался непараметрический критерий Краскела-Уоллиса [21, 22]. Различия интерпретировались как статистически значимые при уровне $p < 0,05$, однако результаты следует рассматривать с учетом ограниченного объема выборки ($n = 3$).

Все статистические расчеты и построение графиков выполнялись с использованием Python (версия ≥ 3.9) со стандартными научными библиотеками [22, 23].

Результаты исследования

Основываясь на ранее опубликованных исследованиях, лиофилизация была оценена и выбрана как стратегия разработки экспериментальных пробиотических кормовых добавок на основе *B. subtilis* А-12 [24 - 26].

Кроме того, спорообразующая природа бактерии *B. subtilis* еще больше повышает ее пригодность для лиофилизации, поскольку споры обладают повышенной устойчивостью к дегидратации и тепловому стрессу по сравнению с вегетативными клетками [27, 28].

Жизнеспособность штамма после лиофилизации оценивалась с использованием различных криопротекторных сред, включая желатино-сахарозо-молочную среду, сахарозную среду, молочную среду, желатино-сахарозную среду и желатиновую среду.

Результаты показали, что выживаемость *B. subtilis* А-12 после лиофилизации сильно зависела от состава среды. Содержащие сахар составы обеспечивали более высокий уровень защиты по сравнению со средами, не содержащими углеводов. Это объясняется тем, что сахара способны удерживать некоторое количество влаги, необходимое для сохранения жизнеспособности микроорганизмов [29, 30]. Кроме того, углеводы вызывают повышение осмотического давления в клетке, препятствуя тем самым разрыву клеточной стенки при высушивании [31].

Криопротекторные среды в данном исследовании можно ранжировать по выживаемости после лиофилизации следующим образом: желатин-сахароза > желатин-сахароза-молоко > сахароза > молоко > желатин (рисунок 1). Таким образом, среди испытанных вариантов защитная среда, содержащая желатин и сахарозу, обеспечивала наибольшую жизнеспособность бактериальных клеток после лиофилизации.

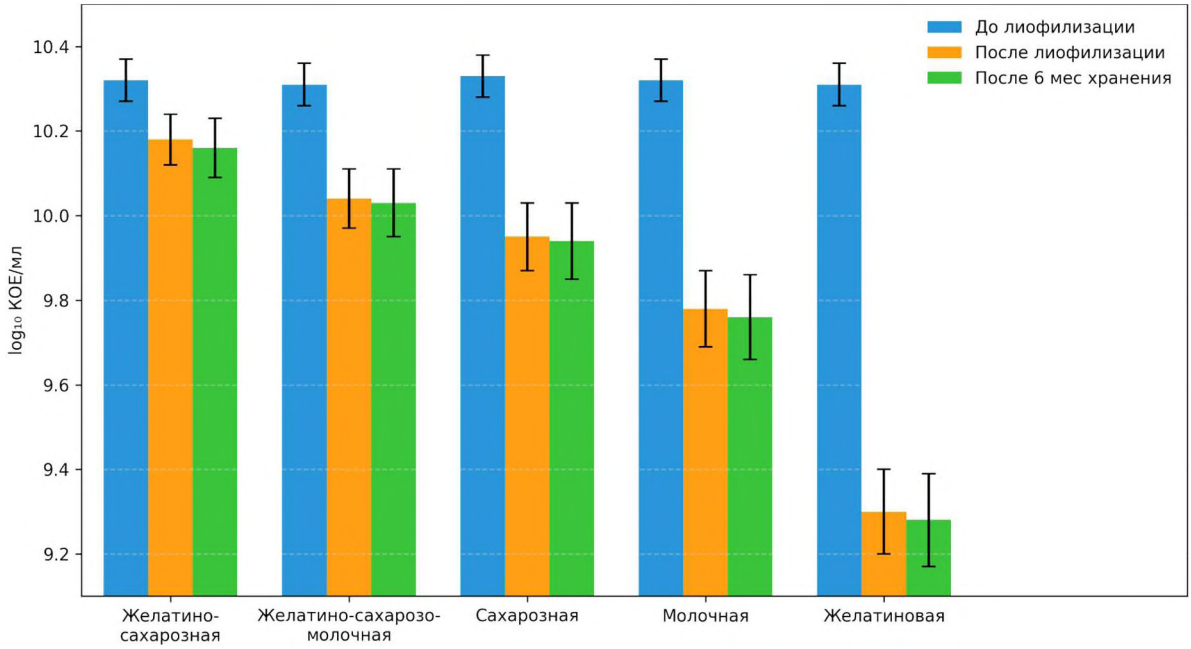


Рисунок 1. Динамика жизнеспособности штамма *Bacillus subtilis A-12* на криопротекторных средах до, после лиофилизации и после хранения в течение 6 месяцев (log_{10} КОЕ/мл, Mean ± SD, n = 3)

В среде с желатином и сахарозой наблюдалось увеличение выживаемости клеток, интерпретируемое как тенденция к статистически значимому, по сравнению с криопротекторными составами, не содержащими углеводов ($p < 0,05$) (таблица 1). Превосходные характеристики желатино-сахарной среды можно объяснить комбинированным осмопротективным эффектом сахаров и белковой матрицы, образованной желатином, которая, вероятно, стабилизирует клеточные мембраны и внутриклеточные структуры во время дегидратации. Кроме проявленных криопротекторных свойств в отношении микробной культуры, желатино-сахарозная среда оказалась более выгодной и с экономической точки зрения [32, 33].

Таблица 1. Влияние криопротекторных сред на жизнеспособность *Bacillus subtilis* A-12 до, после лиофилизации и после хранения в течение 6 месяцев (log_{10} КОЕ/мл и $\times 10^9$ КОЕ/мл, Mean ± SD, n = 3)

Защитная среда	До лиофилизации, log_{10} КОЕ/мл	До лиофилизации, $\times 10^9$ КОЕ/мл	После лиофилизации, log_{10} КОЕ/мл	После лиофилизации, $\times 10^9$ КОЕ/мл	После 6 мес хранения, log_{10} КОЕ/мл	После 6 мес хранения, $\times 10^9$ КОЕ/мл
Желатино-сахарозная	10.32 ± 0.05	20.9	10.18 ± 0.06	15.0	10.16 ± 0.07	14.5
Желатино-сахарозо-молочная	10.31 ± 0.05	20.4	10.04 ± 0.07	11.0	10.03 ± 0.08	10.7
Сахарозная	10.33 ± 0.05	21.4	9.95 ± 0.08	9.0	9.94 ± 0.09	8.7
Молочная	10.32 ± 0.05	20.9	9.78 ± 0.09	6.0	9.76 ± 0.10	5.8
Желатиновая	10.31 ± 0.05	20.4	9.30 ± 0.10	2.0	9.28 ± 0.11	1.9

Хотя лиофилизация привела к первоначальному снижению количества жизнеспособных клеток на 25-35 %, последующее хранение при температуре 4°C вызвало лишь минимальные дополнительные потери (2-5 %), что свидетельствует об эффективной долгосрочной стабилизации (рисунок 1). Полученные параметры стабильности соответствуют основным требованиям, предъявляемым к пробиотическим кормовым добавкам, предназначенным для промышленного хранения и распространения. Наблюдаемое снижение жизнеспособности (25-35%) сопоставимо или ниже значений, зарегистрированных для других штаммов *Bacillus* и молочнокислых бактерий, где после лиофилизации обычно отмечаются потери в размере 30-60% [34-36].

Таким образом, применение подходящей криопротекторной среды при лиофилизации клеток *Bacillus* позволяет сохранять жизнеспособность культуры и поддерживать её биологическую активность при длительном хранении. Лиофилизированная культура *B. subtilis* сохранила стабильные биологические свойства и может быть использована в качестве исходного материала для производства экспериментальных пробиотических кормовых добавок на основе концентрированной биомассы (рисунок 1, 2).

По результатам исследования был подготовлен экспериментальный образец пробиотической кормовой добавки на основе лиофилизированной биомассы *B. subtilis* А-12. Общая схема биотехнологического процесса разработки образца показана на рисунке 2.

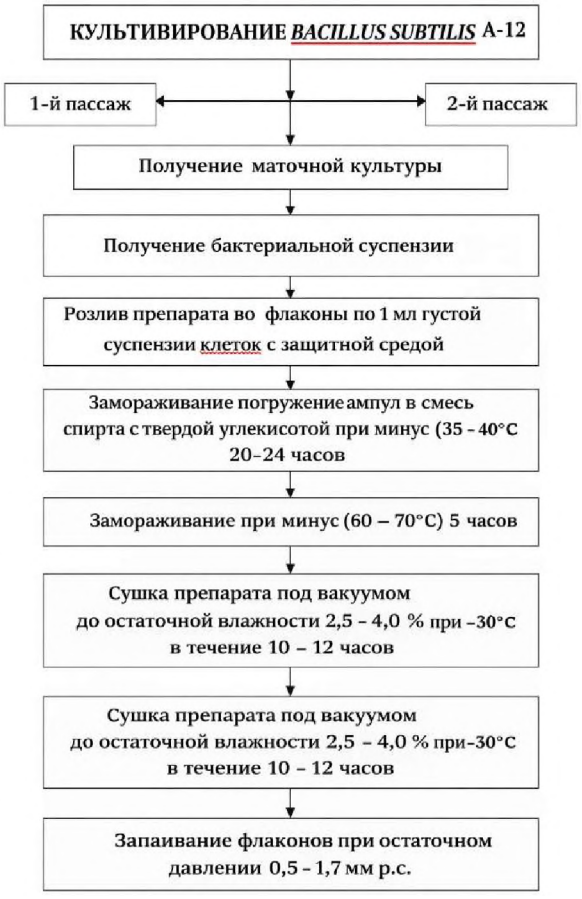


Рисунок 2. Схема проведения лиофильной сушки биомассы *Bacillus subtilis A-12*

Настоящее исследование ограничивалось оценкой жизнеспособности *in vitro* и стабильности при хранении в период до 6 месяцев. В этой связи, для полной проверки функциональной эффективности разработанной кормовой добавки необходимы дальнейшие исследования по оценке выживаемости в желудочно-кишечном тракте и эффективности *in vivo* на животных.

Обсуждение

Результаты проведенных исследований показали, что эффективность лиофилизации пробиотических микроорганизмов напрямую зависит от состава используемой криопротекторной среды. В нашем исследовании было установлено, что среда на основе желатина и сахарозы обеспечивает наивысший уровень жизнеспособности штамма *B. subtilis* А-12 после лиофилизации. Это объясняется синергетическим эффектом её компонентов. Сахароза способствует стабилизации клеточных мембран и белковых структур за счёт формирования стеклообразной матрицы и сохранения остаточной влаги [14, 29, 30]. Желатин, в свою очередь, образует белковую матрицу, защищающую клетки от повреждений во время замораживания и сублимации воды [32].

Низкая жизнеспособность клеток в желатиновой среде без углеводов подтверждает важную роль сахаров в процессе лиофилизации, что согласуется с ранее опубликованными исследованиями [14, 17, 24]. Так, например, схожие результаты были получены в исследовании штаммов *Lactobacillus* и *Bacillus*, где потери жизнеспособности после лиофилизации составляли от 30 до 60% в зависимости от состава среды [25, 34, 35].

Полученные результаты согласуются с данными других исследований. Согласно ранее проведенным исследованиям, сахароза, компоненты молока и другие криопротекторы могут значительно повысить жизнеспособность пробиотических бактерий после лиофилизации [17, 24, 29].

Данная работа показала оптимальное снижение жизнеспособности клеток микроорганизмов на уровне 25-30% в оптимально подобранной криопротекторной среде. Полученный результат может быть связан как с особенностями исследуемого штамма *B. subtilis* А-12, обладающего способностью к спорообразованию, так и с оптимально подобранным составом криопротекторной среды [6, 9, 27].

Однако данное исследование имеет ряд ограничений: оценка проводилась только *in vitro*, без анализа выживаемости клеток в условиях желудочно-кишечного тракта и без *in vivo* испытаний на животных; не рассматривались вопросы включения лиофилизированной биомассы в состав готовых кормов и её стабильности в реальных технологических условиях. Поэтому полученные результаты следует рассматривать как предварительные и требующие дальнейшего подтверждения в условиях, приближенных к реальному применению.

Заключение

В данном исследовании показан биотехнологический потенциал штамма *B. subtilis* А-12 с целью разработки пробиотических кормовых добавок для сельского хозяйства. В качестве метода стабилизации микроорганизмов использовалась лиофилизация. Результаты исследования показали, что выживаемость *B. subtilis* А-12 после лиофилизации сильно зависит от состава криопротекторной среды. Среди протестированных в работе составов желатиново-сахарозная среда обеспечила самую высокую жизнеспособность бактериальной культуры после лиофилизации.

Несмотря на то, что лиофилизация вызвала первоначальное снижение количества жизнеспособных клеток примерно на 25-35%, последующее хранение при 4°C привело лишь к незначительным дополнительным потерям (2-5%), что указывает на эффективную долговременную стабилизацию лиофилизированной биомассы и технологическую пригодность выбранного подхода для кормовых пробиотиков.

В целом, полученные результаты подтверждают, что лиофилизация в сочетании с соответствующей криопротекторной средой является надежным подходом для сохранения жизнеспособности и биологической стабильности культур *B. subtilis*.

По результатам работы был разработан экспериментальный образец пробиотической добавки на основе лиофилизированной биомассы *B. subtilis* А-12, а также предложена технологическая схема последующего производства. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на оценке выживаемости в желудочно-кишечном тракте и эффективности *in vivo* на животных моделях для полной проверки функциональных свойств разработанной лиофилизированной биомассы.

Результаты исследования демонстрируют перспективность применения лиофилизированной биомассы *B. subtilis* А-12 при разработке стабильных пробиотических кормовых добавок для сельского хозяйства. Использование оптимизированной криопротекторной среды позволит повысить сохранность жизнеспособных клеток при хранении и транспортировке, что имеет практическое значение для промышленного производства пробиотических препаратов.

Литература:

1. Vieco-Saiz N., Lemâle O., Evans N.P., Quinteiro-Filho W.M., Mellouk A., Consuegra J., Yakout H., Goossens T. (2025). Winning the battle of intestinal peace with *Bacillus* — a multifaceted approach to animal health, immunity, and future applications in monogastric livestock production [Text] / N. Vieco-Saiz et al. // Frontiers in Microbiology. – Vol. 16. – Art. 1711747. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1711747.

2. Šimunović K., Rezar V., Štefanič P. et al. (2025). Probiotic effect of *Bacillus subtilis* PS-216 in broiler chickens: modulation of weight, feed conversion, short-chain fatty acids, microbiota and meat quality [Text] / K. Šimunović et al. // Animal Microbiome. – Vol. 7. – Art. 121. https://doi.org/10.1186/s42523-025-00489-7.

3. Cai Y., Xiao C., Tian B., Sandvang D., Meuter A., Song B., Song Z. (2024). Dietary probiotic based on a dual-strain *Bacillus subtilis* improves immunity, intestinal health, and growth performance of broiler chickens [Text] / Y. Cai et al. // Journal of Animal Science. – Vol. 102. – Art. skae183. https://doi.org/10.1093/jas/skae183.

4. Eyre K.E., Pan L., Harper K., Prada e Silva L.F. (2025). The effect of a Bacillus-based probiotic on feed intake and digestibility of a forage and a feedlot diet in *Bos indicus* steers [Text] / K.E. Eyre et al. // Veterinary and Animal Science. – Vol. 29. – Art. 100463.

5. Park J.M., An B.K., Yang T.S., Kim K.E. (2024). Effects of single or combined feeding with *Bacillus subtilis* and organic acid mixture on egg production, physiological responses, and cholesterol level in chicken eggs [Text] / J. M. Park et al. // Journal of Animal and Feed Sciences. – Vol. 33(4). – P. 486–492. https://doi.org/10.22358/jafs/186959/2024.

6. Ramlucken U., Lalloo R., Roets Y., Moonsamy G., van Rensburg C. Jansen, Thantsha M. S. (2020). Advantages of *Bacillus*-based probiotics in poultry production [Text] / U. Ramlucken et al. // Livestock Science. – Vol. 241. – Art. 104215.

7. Calaca A.M.M., Figueiredo C.B., Silva M.B., Fernandes J.J.R., Fernandes M.H.M.R., Silva L.F., Couto V.R.M. (2022). Effect of a *Bacillus* probiotic strain on Nellore cattle finished on pasture during the dry season [Text] / A.M.M. Calaca et al. // Livestock Science. – Vol. 264. – Art. 105068. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105068.

8. Wang B., Middleton A., Gibson R., Khanolkar J., Klymenko O., Wu C.-Y. (2024). Understanding lethal mechanisms and preventive strategies in probiotic tablet production – a review [Text] / B. Wang et al. //

Powder Technology. – Vol. 443. – Art. 119905. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119905.
9. Cutting S.M. (2011). Bacillus probiotics [Text] / S.M. Cutting // Food Microbiology. – Vol. 28(2). – P. 214–220. https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.007.
10. Osho S., Bolek K., Saddoris-Clemons K., Humphrey B., Garcia M. (2023). Impact of a direct-fed microbial supplementation on intestinal permeability and immune response in broiler chickens during a coccidia challenge [Text] / S. Osho et al. // Frontiers in Microbiology. – Vol. 14. – Art. 1283393. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1283393.
11. Rahman M.R.T., Fliss I., Biron E. (2022). Insights in the development and uses of alternatives to antibiotic growth promoters in poultry and swine production [Text] / M.R.T. Rahman et al. // Antibiotics (Basel). – Vol. 11(6). – Art. 766. https://doi.org/10.3390/antibiotics11060766.
12. Idowu P.A., Mbambalala L., Idowu A.P. (2025). Probiotics as sustainable alternatives to antibiotic growth promoters: mechanisms, applications, and future perspectives in livestock production [Text] / P.A. Idowu et al. // Letters in Animal Biology. – Vol. 5(1). – P. 129–142. https://doi.org/10.62310/liab.v5i1.258.
13. Абдулжанова М.А., Бахытжан Н.Н., Мирзагаликова Б.В., Доктыбай Г. (2025). Скрининг и характеристика антагонистически и ферментативно активных штаммов *Bacillus* для пробиотического применения в птицеводстве [Text] / М.А. Абдулжанова и др. // Ғылым және білім. Наука и образование. Science and Education. – № 3-1 (80). – P. 134–144.https://doi.org/10.52578/2305-9397-2025-3-1-134-144. (In Russian)
14. Santivarangkna C., Higl B., Foerst P. (2008). Protection mechanisms of sugars during different stages of preparation process of dried lactic acid starter cultures [Text] / C. Santivarangkna et al. // Food Microbiology. – Vol. 25(3). – P. 429–441.https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.12.004.
15. Berner D., Viernstein H. (2006). Effect of protective agents on the viability of *Lactococcus lactis* subjected to freeze-thawing and freeze-drying [Text] / D. Berner, H. Viernstein // Scientia Pharmaceutica. – Vol. 74. – P. 137–149.
16. Abadias M., Benabarre A., Teixidò N., Usall J., Viñas I. (2001). Effect of freeze drying and protectants on viability of the biocontrol yeast Candida sake [Text] / M. Abadias et al. // International Journal of Food Microbiology. – Vol. 65. – P. 173–182.
17. Savedboworn W., Teawsomboonkit K., Surichay S., Riansa-Ngawong W., Rittisak S., Charoen R., Phattayakorn K. (2018). Impact of protectants on the storage stability of freeze-dried probiotic *Lactobacillus plantarum* [Text] / W. Savedboworn et al. // Food Science and Biotechnology. – Vol. 28(3). – P. 795–805. https://doi.org/10.1007/s10068-018-0523-x.
18. Wang J., Wu P., Dhital S., Yu A., Chen X. D. (2025). Impact of freezing and freeze drying on *Lactobacillus rhamnosus* GG survival: mechanisms of cell damage and the role of pre-freezing conditions and cryoprotectants [Text] / J. Wang et al. // Foods. – Vol. 14. – Art. 1817. https://doi.org/10.3390/foods14101817.
19. Shapiro S.S., Wilk M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples) [Text] / S. S. Shapiro, M. B. Wilk // Biometrika. – Vol. 52(3–4). – P. 591–611. https://doi.org/10.2307/2333709.
20. Levene H. (1960). Robust tests for equality of variances [Text] / H. Levene // In: Contributions to Probability and Statistics. Stanford University Press, Palo Alto. – P. 278–292.TUKEY JW. Comparing individual means in the analysis of variance. Biometrics. 1949 Jun;5(2):99-114. PMID: 18151955.
21. Kruskal W.H., Wallis W.A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis [Text] / W.H. Kruskal, W.A. Wallis // Journal of the American Statistical Association. – Vol. 47(260). – P. 583–621. https://doi.org/10.2307/2280779.
22. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T. E. et al. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python [Text] / P. Virtanen et al. // Nature Methods. – Vol. 17. – P. 261–272. https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2.
23. McKinney W. (2010). Data structures for statistical computing in Python [Text] / W. McKinney // Proceedings of the 9th Python in Science Conference. Austin, USA. – P. 56–61. https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a.
24. Oluwatosin S.O., Tai S.L., Fagan-Endres M.A. (2022). Sucrose, maltodextrin and inulin efficacy as cryoprotectant, preservative and prebiotic – towards a freeze dried *Lactobacillus plantarum* topical probiotic [Text] / S.O. Oluwatosin, S.L. Tai, M.A. Fagan-Endres // Biotechnology Reports. – Vol. 33. – e00696. https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00696.
25. Bagad M., Pande R., Dubey V., Ghosh A. R. (2017). Survivability of freeze-dried probiotic *Pediococcus pentosaceus* strains GS4, GS17 and *Lactobacillus gasseri* (ATCC 19992) during storage with commonly used pharmaceutical excipients within a period of 120 days [Text] / M. Bagad et al. // Asian

Pacific Journal of Tropical Biomedicine. – Vol. 7(10). – P. 921–929. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.09.005.
26. Li C., Zhao K., Ma L., Zhao J., Zhao Z. M. (2022). Effects of drying strategies on sporulation and titer of microbial ecological agents with *Bacillus subtilis* [Text] / C. Li et al. // Frontiers in Nutrition. – Vol. 9. – Art. 1025248. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1025248.
27. Setlow P. (2006). Spores of *Bacillus subtilis*: their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals [Text] / P. Setlow // Journal of Applied Microbiology. – Vol. 101. – P. 514–525. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02736.x.
28. Bodzen A., Jossier A., Dupont S., Mousset P.Y., Beney L., Lafay S., Gervais P. (2021). Increased survival of *Lactococcus lactis* strains subjected to freeze-drying after cultivation in an acid medium: involvement of membrane fluidity [Text] / A. Bodzen et al. // Food Technology and Biotechnology. – Vol. 59(4). – P. 443–453. https://doi.org/10.17113/ftb.59.04.21.7076.
29. Nguyen H.T., Truong D.H., Kouhoundé S., Ly S., Razafindralambo H., Delvigne F. (2016). Biochemical engineering approaches for increasing viability and functionality of probiotic bacteria [Text] / H.T. Nguyen et al. // International Journal of Molecular Sciences. – Vol. 17(6). – Art. 867. https://doi.org/10.3390/ijms17060867.
30. Van Engeland C., Haut B., Debaste F. (2025). A closer look at the potential mechanisms of action of protective agents used in the drying of microorganisms: a review [Text] / C. Van Engeland et al. // Microorganisms. – Vol. 13(2). – Art. 435. https://doi.org/10.3390/microorganisms13020435.
31. Guyvinska S.O., Paliy A.P., Dunaeva O.V., Paliy A.P., Berezhna N.V. (2018). Biotechnology production of medium for cultivation and lyophilization of lactic acid bacteria [Text] / S.O. Guyvinska et al. // Ukrainian Journal of Ecology. – Vol. 8(2). – P. 5–11.https://doi.org/10.15421/2018_302.
32. Грачева И.В., Осин А.В. (2016). Механизмы повреждений бактерий при лиофилизации и протективное действие защитных сред [Text] / И. В. Грачева, А. В. Осин // Проблемы особо опасных инфекций. – № 3. – P. 5–12. https://doi.org/10.21055/0370-1069-2016-3-5-12. (In Russian)
33. Betoret E., Betoret N., Calabuig-Jiménez L., Barrera C., Dalla Rosa M. (2020). Effect of drying process, encapsulation, and storage on the survival rates and gastrointestinal resistance of *Lactobacillus salivarius* spp. salivarius included into a fruit matrix [Text] / E. Betoret et al. // Microorganisms. – Vol. 8. – Art. 654. https://doi.org/10.3390/microorganisms8050654.
34. Pyar H. (2016). Investigation of cryoprotection on the viability of freeze-dried probiotics [Text] / H. Pyar // Malaysian Journal of Microbiology. – Art. S02116. https://doi.org/10.21161/MJM.S02116.
35. García-Robles G., Fajardo-Robledo N.S., Ruvalcaba-Gómez J.M., Solís-Pacheco J.R., Villarruel-López A., Aguilar-Uscanga B.R. (2025). Assessment of the stability and viability of a probiotic formulation with strains of *Lactiplantibacillus* LH05 and LH06 isolated from breast milk [Text] / G. García-Robles et al. // Journal of Food Science & Nutrition. – Art. 100222. https://doi.org/10.24966/FSN-1076/100222.

References:

1. Vieco-Saiz N., Lemâle O., Evans N.P., Quinteiro-Filho W.M., Mellouk A., Consuegra J., Yakout H., Goossens T. (2025). Winning the battle of intestinal peace with Bacillus — a multifaceted approach to animal health, immunity, and future applications in monogastric livestock production [Text] / N. Vieco-Saiz et al. // Frontiers in Microbiology. – Vol. 16. – Art. 1711747. https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1711747.
2. Šimunović K., Rezar V., Štefanič P. et al. (2025). Probiotic effect of *Bacillus subtilis* PS-216 in broiler chickens: modulation of weight, feed conversion, short-chain fatty acids, microbiota and meat quality [Text] / K. Šimunović et al. // Animal Microbiome. – Vol. 7. – Art. 121. https://doi.org/10.1186/s42523-025-00489-7.
3. Cai Y., Xiao C., Tian B., Sandvang D., Meuter A., Song B., Song Z. (2024). Dietary probiotic based on a dual-strain *Bacillus subtilis* improves immunity, intestinal health, and growth performance of broiler chickens [Text] / Y. Cai et al. // Journal of Animal Science. – Vol. 102. – Art. skae183. https://doi.org/10.1093/jas/skae183.
4. Eyre K.E., Pan L., Harper K., Prada e Silva L.F. (2025). The effect of a Bacillus-based probiotic on feed intake and digestibility of a forage and a feedlot diet in Bos indicus steers [Text] / K.E. Eyre et al. // Veterinary and Animal Science. – Vol. 29. – Art. 100463.
5. Park J.M., An B.K., Yang T.S., Kim K.E. (2024). Effects of single or combined feeding with *Bacillus subtilis* and organic acid mixture on egg production, physiological responses, and cholesterol level in chicken eggs [Text] / J.M. Park et al. // Journal of Animal and Feed Sciences. – Vol. 33(4). – P. 486–492.

https://doi.org/10.22358/jafs/186959/2024.
6. Ramlucken U., Lalloo R., Roets Y., Moonsamy G., van Rensburg C. Jansen, Thantsha M.S. (2020). Advantages of Bacillus-based probiotics in poultry production [Text] / U. Ramlucken et al. // Livestock Science. – Vol. 241. – Art. 104215.
7. Calaca A.M.M., Figueiredo C.B., Silva M.B., Fernandes J.J.R., Fernandes M.H.M.R., Silva L.F., Couto V.R.M. (2022). Effect of a *Bacillus* probiotic strain on Nellore cattle finished on pasture during the dry season [Text] / A.M.M. Calaca et al. // Livestock Science. – Vol. 264. – Art. 105068. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105068.
8. Wang B., Middleton A., Gibson R., Khanolkar J., Klymenko O., Wu C.-Y. (2024). Understanding lethal mechanisms and preventive strategies in probiotic tablet production – a review [Text] / B. Wang et al. // Powder Technology. – Vol. 443. – Art. 119905. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119905.
9. Cutting S.M. (2011). Bacillus probiotics [Text] / S.M. Cutting // Food Microbiology. – Vol. 28(2). – P. 214–220. https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.007.
10. Osho S., Bolek K., Saddoris-Clemons K., Humphrey B., Garcia M. (2023). Impact of a direct-fed microbial supplementation on intestinal permeability and immune response in broiler chickens during a coccidia challenge [Text] / S. Osho et al. // Frontiers in Microbiology. – Vol. 14. – Art. 1283393. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1283393.
11. Rahman M.R.T., Fliss I., Biron E. (2022). Insights in the development and uses of alternatives to antibiotic growth promoters in poultry and swine production [Text] / M.R.T. Rahman et al. // Antibiotics (Basel). – Vol. 11(6). – Art. 766. https://doi.org/10.3390/antibiotics11060766.
12. Idowu P.A., Mbambalala L., Idowu A.P. (2025). Probiotics as sustainable alternatives to antibiotic growth promoters: mechanisms, applications, and future perspectives in livestock production [Text] / P.A. Idowu et al. // Letters in Animal Biology. – Vol. 5(1). – P. 129–142. https://doi.org/10.62310/liab.v5i1.258.
13. Abdulzhanova M.A., Bakhytzhan N.N., Mirzagalikova B.V., Doktybay G. (2025). Skrining i kharakteristika antagonisticheski i fermentativno aktivnykh shtammov *Bacillus* dlya probioticheskogo primeneniya v ptitsevodstve [Text] / M.A. Abdulzhanova et al. // Gylym zhane bilim. Nauka i obrazovanie. Science and Education. – No. 3-1 (80). – P. 134–144. https://doi.org/10.52578/2305-9397-2025-3-1-134-144. (In Russian)
14. Santivarangkna C., Higl B., Foerst P. (2008). Protection mechanisms of sugars during different stages of preparation process of dried lactic acid starter cultures [Text] / C. Santivarangkna et al. // Food Microbiology. – Vol. 25(3). – P. 429–441. https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.12.004.
15. Berner D., Viernstein H. (2006). Effect of protective agents on the viability of *Lactococcus lactis* subjected to freeze-thawing and freeze-drying [Text] / D. Berner, H. Viernstein // Scientia Pharmaceutica. – Vol. 74. – P. 137–149.
16. Abadias M., Benabarre A., Teixidò N., Usall J., Viñas I. (2001). Effect of freeze drying and protectants on viability of the biocontrol yeast Candida sake [Text] / M. Abadias et al. // International Journal of Food Microbiology. – Vol. 65. – P. 173–182.
17. Savedboworn W., Teawsomboonkit K., Surichay S., Riansa-Ngawong W., Rittisak S., Charoen R., Phattayakorn K. (2018). Impact of protectants on the storage stability of freeze-dried probiotic *Lactobacillus plantarum* [Text] / W. Savedboworn et al. // Food Science and Biotechnology. – Vol. 28(3). – P. 795–805. https://doi.org/10.1007/s10068-018-0523-x.
18. Wang J., Wu P., Dhital S., Yu A., Chen X.D. (2025). Impact of freezing and freeze drying on *Lactobacillus rhamnosus* GG survival: mechanisms of cell damage and the role of pre-freezing conditions and cryoprotectants [Text] / J. Wang et al. // Foods. – Vol. 14. – Art. 1817. https://doi.org/10.3390/foods14101817.
19. Shapiro S.S., Wilk M.B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples) [Text] / S.S. Shapiro, M.B. Wilk // Biometrika. – Vol. 52(3–4). – P. 591–611. https://doi.org/10.2307/2333709.
20. Levene H. (1960). Robust tests for equality of variances [Text] / H. Levene // In: Contributions to Probability and Statistics. Stanford University Press, Palo Alto. – P. 278–292.TUKEY JW. Comparing individual means in the analysis of variance. Biometrics. 1949 Jun;5(2):99-114. PMID: 18151955.
21. Kruskal W.H., Wallis W.A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis [Text] / W.H. Kruskal, W.A. Wallis // Journal of the American Statistical Association. – Vol. 47(260). – P. 583–621. https://doi.org/10.2307/2280779.
22. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E. et al. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python [Text] / P. Virtanen et al. // Nature Methods. – Vol. 17. – P. 261–272. https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2.

23. McKinney W. (2010). Data structures for statistical computing in Python [Text] / W. McKinney // Proceedings of the 9th Python in Science Conference. Austin, USA. – P. 56–61. https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a.
24. Oluwatosin S.O., Tai S.L., Fagan-Endres M.A. (2022). Sucrose, maltodextrin and inulin efficacy as cryoprotectant, preservative and prebiotic – towards a freeze dried *Lactobacillus plantarum* topical probiotic [Text] / S.O. Oluwatosin, S.L. Tai, M.A. Fagan-Endres // Biotechnology Reports. – Vol. 33. – e00696. https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00696.
25. Bagad M., Pande R., Dubey V., Ghosh A. R. (2017). Survivability of freeze-dried probiotic *Pediococcus pentosaceus* strains GS4, GS17 and Lactobacillus gasseri (ATCC 19992) during storage with commonly used pharmaceutical excipients within a period of 120 days [Text] / M. Bagad et al. // Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. – Vol. 7(10). – P. 921–929. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.09.005.
26. Li C., Zhao K., Ma L., Zhao J., Zhao Z. M. (2022). Effects of drying strategies on sporulation and titer of microbial ecological agents with *Bacillus subtilis* [Text] / C. Li et al. // Frontiers in Nutrition. – Vol. 9. – Art. 1025248. https://doi.org/ 10.3389/fnut.2022.1025248.
27. Setlow P. (2006). Spores of *Bacillus subtilis*: their resistance to and killing by radiation, heat and chemicals [Text] / P. Setlow // Journal of Applied Microbiology. – Vol. 101. – P. 514–525. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02736.x.
28. Bodzen A., Jossier A., Dupont S., Mousset P. Y., Beney L., Lafay S., Gervais P. (2021). Increased survival of *Lactococcus lactis* strains subjected to freeze-drying after cultivation in an acid medium: involvement of membrane fluidity [Text] / A. Bodzen et al. // Food Technology and Biotechnology. – Vol. 59(4). – P. 443–453. https://doi.org/10.17113/ftb.59.04.21.7076.
29. Nguyen H.T., Truong D.H., Kouhoundé S., Ly S., Razafindralambo H., Delvigne F. (2016). Biochemical engineering approaches for increasing viability and functionality of probiotic bacteria [Text] / H.T. Nguyen et al. // International Journal of Molecular Sciences. – Vol. 17(6). – Art. 867. https://doi.org/10.3390/ijms17060867.
30. Van Engeland C., Haut B., Debaste F. (2025). A closer look at the potential mechanisms of action of protective agents used in the drying of microorganisms: a review [Text] / C. Van Engeland et al. // Microorganisms. – Vol. 13(2). – Art. 435. https://doi.org/10.3390/microorganisms13020435.
31. Guyvinska S.O., Paliy A.P., Dunaeva O.V., Paliy A.P., Berezhna N.V. (2018). Biotechnology production of medium for cultivation and lyophilization of lactic acid bacteria [Text] / S.O. Guyvinska et al. // Ukrainian Journal of Ecology. – Vol. 8(2). – P. 5–11. https://doi.org/10.15421/2018_302.
32. Gracheva I.V., Osin A.V. (2016). Mekhanizmy povrezhdenii bakterii pri liofilizatsii i protektivnoe deistvie zashchitnykh sred [Text] / I.V. Gracheva, A.V. Osin // Problemy osobo opasnykh infektsii. – No. 3. – P. 5–12. https://doi.org/10.21055/0370-1069-2016-3-5-12. (In Russian)
33. Betoret E., Betoret N., Calabuig-Jiménez L., Barrera C., Dalla Rosa M. (2020). Effect of drying process, encapsulation, and storage on the survival rates and gastrointestinal resistance of *Lactobacillus salivarius* spp. salivarius included into a fruit matrix [Text] / E. Betoret et al. // Microorganisms. – Vol. 8. – Art. 654. https://doi.org/10.3390/microorganisms8050654.
34. Pyar H. (2016). Investigation of cryoprotection on the viability of freeze-dried probiotics [Text] / H. Pyar // Malaysian Journal of Microbiology. – Art. S02116. https://doi.org/10.21161/MJM.S02116.
35. García-Robles G., Fajardo-Robledo N.S., Ruvalcaba-Gómez J.M., Solís-Pacheco J.R., Villarruel-López A., Aguilar-Uscanga B.R. (2025). Assessment of the stability and viability of a probiotic formulation with strains of *Lactiplantibacillus* LH05 and LH06 isolated from breast milk [Text] / G. García-Robles et al. // Journal of Food Science & Nutrition. – Art. 100222. https://doi.org/10.24966/FSN-1076/100222.

Information about the authors

M. Abdulzhanova – corresponding author, PhD, senior lecturer, NJC "Al-Farabi Kazakh national university", Almaty, Kazakhstan; e-mail: malika.abdulzhanova@kaznu.edu.kz; ORCID: 0000-0001-7751-2256;
N. Bakhytzhan – intern, student, NJC "Al-Farabi Kazakh national university", Municipal State Institution "Secondary School No. 9", Department of Education of Almaty, Almaty, Kazakhstan; e-mail: nurassylbakh@gmail.com; ORCID: 0009-0002-1217-7754.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-90-106
УДК 574:581
МРНТИ 34.29.35

СОВРЕМЕННЫЙ АННОТИРОВАННЫЙ СПИСОК ВИДОВ РЕДКИХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Дмитриев П.С.[1], Галактионова Е.В.[1], Зубань И.А.[1], Климавичуте А.А.[1*], Седельников И.А.[1]

[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*

[*]Автор для корреспонденции: alice4689@mail.ru

Аннотация

На сегодняшний день не существует современного аннотированного списка видов редких лекарственных растений Северо-Казахстанской области (СКО). В работе представлены расширенные паспорта данных представителей флоры, составленные по результатам анализа научных публикаций, материалов полевых исследований, гербарного фонда ученых университета.

Согласно составленному списку, представлено одиннадцать видов редких лекарственных растений Северо-Казахстанской области. Из них к семейству *Ranunculaceae* относятся 4 вида, по 1 виду в семействах Poaceae, *Liliaceae*, *Lythraceae*, Droseraceae, Menyanthaceae; к семейству Orchidaceae относятся 2 вида.

Рассмотрены таксономическое положение, морфология и экологические особенности каждого вида, отдельно подчёркнуты фармакологические свойства, подтверждающие их ценность как источников биологически активных веществ. Особое внимание уделено категории редкости растений и их распространению в пределах Северо-Казахстанской области, отражающей уникальность лесостепных и степных экосистем региона.

Результаты работы подчеркивают важность исследований, как инструмента инвентаризации и правового регулирования охраны растений, а также необходимость дальнейших исследований фармакологического потенциала редких видов.

Ключевые слова: Северо-Казахстанская область, редкие растения, лекарственные растения, охрана флоры, фитотерапевтические ресурсы, биоразнообразие, морфология и экологические особенности вида.

ТҮРЛЕРДІҢ ЗАМАНАУИ АННОТАЦИЯЛАНҒАН ТІЗІМІ СИРЕК ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕР СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫ

Дмитриев П.С.[1], Галактионова Е.В.[1], Зубань И.А.[1], Климавичуте А.А.[1*], Седельников И.А.[1]

[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*

[*]Хат-хабар үшін автор: alice4689@mail.ru

Аңдатпа

Қазіргі уақытта Солтүстік Қазақстан облысының (СҚО) сирек кездесетін дәрілік өсімдіктерінің заманауи аннотацияланған тізімі жоқ. Бұл жұмыста ғылыми жарияланымдарды, далалық зерттеулер материалдарын және университет ғалымдарының гербарий қорын талдау нәтижесінде құрастырылған флора өкілдерінің кеңейтілген деректер паспорты ұсынылады.

Құрастырылған тізімге сәйкес, Солтүстік Қазақстан облысының сирек кездесетін дәрілік өсімдіктерінің он бір түрі анықталды. Олардың ішінде 4 түрі *Ranunculaceae* тұқымдасына жатады, ал *Poaceae*, *Liliaceae*, *Lythraceae*, *Droseraceae*, *Menyanthaceae* тұқымдастарының әрқайсысына 1 түрден; *Orchidaceae* тұқымдасына 2 түр кіреді.

Әрбір түрдің таксономиялық орны, морфологиясы және экологиялық ерекшеліктері қарастырылған. Сонымен қатар, олардың биологиялық белсенді заттардың көзі ретіндегі құндылығын дәлелдейтін фармакологиялық қасиеттеріне ерекше назар аударылған.
Өсімдіктердің сиректік санаты мен Солтүстік Қазақстан облысы аумағындағы таралу ерекшеліктеріне ерекше көңіл бөлінген, бұл аймақтың орманды-дала және дала экожүйелерінің бірегейлігін көрсетеді.
Зерттеу нәтижелері өсімдіктерді қорғауды құқықтық реттеу мен инвентаризациялаудың маңызды құралы ретінде осындай жұмыстардың маңыздылығын көрсетеді, сондай-ақ сирек түрлердің фармакологиялық әлеуетін әрі қарай зерттеу қажеттігін айқындайды.

Кілт сөздер: Солтүстік Қазақстан облысы, сирек өсімдіктер, дәрілік өсімдіктер, флораны қорғау, фитотерапиялық ресурстар, биоалуантүрлілік, түрдің морфологиялық және экологиялық ерекшеліктері.

MODERN ANNOTATED CHECKLIST OF RARE MEDICINAL PLANT SPECIES OF THE NORTH KAZAKHSTAN REGION

P.S. Dmitriyev[1], E.V. Galaktionova[1], I.A. Zuban[1], A.A Klimavichute[1*], I.A. Sedelnikov[1]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: alice4689@mail.ru

Abstract

At present, there is no modern annotated checklist of rare medicinal plant species of the North Kazakhstan Region (NKR). This study presents extended data profiles of these representatives of the flora, compiled based on the analysis of scientific publications, field research materials, and herbarium collections of university researchers.
According to the compiled list, eleven species of rare medicinal plants of the North Kazakhstan Region are identified. Among them, four species belong to the family Ranunculaceae, while one species each belongs to the families Poaceae, Liliaceae, Lythraceae, Droseraceae, and Menyanthaceae; two species belong to the family Orchidaceae.
The taxonomic position, morphology, and ecological characteristics of each species are examined. Particular emphasis is placed on their pharmacological properties, confirming their value as sources of biologically active compounds.
Special attention is given to the rarity status of the plants and their distribution within the North Kazakhstan Region, reflecting the uniqueness of the forest-steppe and steppe ecosystems of the region.
The results of the study highlight the importance of such research as a tool for inventory and legal regulation of plant protection, as well as the need for further investigation of the pharmacological potential of rare species.

Keywords: North Kazakhstan Region, rare plants, medicinal plants, flora conservation, phytotherapeutic resources, biodiversity, morphology and ecological characteristics of species.

Введение

Флора Казахстана насчитывает около 6000 видов сосудистых растений, из которых более 1400 признаны лекарственными [1, 2]. Северо-Казахстанская область (СКО) расположена на границе лесостепной и степной зон, отличается экологической неоднородностью: здесь чередуются степи, луга, леса и болота, что формирует богатое видовое разнообразие и способствует накоплению биологически активных веществ [1, 3]. Сохранение биоразнообразия рассматривается как стратегический приоритет государства, а важнейшим инструментом инвентаризации и охраны редких видов является Красная книга Республики Казахстан [4]. В последнем издании под редакцией Б.А. Байтенава, А.А. Иващенко, Г.М. Ситпаевой и А.А. Ролдугина перечислены виды, находящиеся под угрозой исчезновения, для которых предусмотрены конкретные меры охраны [5]. Красная книга Республики Казахстан служит официальным государственным перечнем редких и исчезающих видов флоры и фауны. Категория

редкости присваивается на основе численности популяций и степени угрозы и варьирует от I (находящиеся под угрозой исчезновения/исчезающие) до V (восстановленные/восстанавливающиеся); при этом в прикладных казахстанских источниках II обычно трактуют как «редкий вид», а III - как «вид с сокращающейся численностью» [5]. Северо-Казахстанская область обладает особой ролью в сохранении редкой флоры: здесь сосредоточены популяции лилии кудреватой, горицвета весеннего, прострелов, ковылей и других видов, включенных в Красную книгу [6, 7, 8, 9]. Ещё более ценно, что большинство этих видов имеют выраженные лекарственные свойства, что усиливает необходимость их охраны и научного изучения [1, 6, 7]. В работе указаны места встреч, возможные ареалы произрастания редких видов лекарственных растений на территории Северо-Казахстанской области. Цель данной работы: обобщить имеющиеся сведения о редких лекарственных растениях Северного Казахстана, подчеркнуть их лекарственные свойства и категорию редкости по Красной книге, а также обозначить основные проблемы и перспективы их сохранения.

Материалы и методы

Основными источниками исходных данных послужили материалы полевых исследований, гербарного фонда кафедры биологии Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева, включающие образцы сосудистых растений, собранные в ходе многолетних ботанических экспедиций на территории Северо-Казахстанской области [1, 2]. Гербарные коллекции охватывают различные природные комплексы региона: лесостепные участки, степные сообщества, луговые экосистемы и болотные биотопы [3, 10, 11].

Для каждого исследуемого вида анализировались материалы полевых исследований и гербарные образцы, содержащие сведения о месте и времени сбора, экологических условиях произрастания и морфологических особенностях растений [5, 8]. На основе этих материалов были уточнены ареалы распространения редких видов в пределах Северо-Казахстанской области, а также их приуроченность к определённым типам местообитаний [12, 13].

Определение и проверка таксономической принадлежности растений проводились с использованием классических флористических сводок и определителей растений Казахстана и сопредельных территорий [13]. Номенклатура видов уточнялась по международным ботаническим базам данных Plants of the World Online и International Plant Names Index [13, 28].

Категории редкости и охранный статус исследуемых видов устанавливались на основании данных Красной книги Республики Казахстан, которая использовалась в качестве справочного источника для подтверждения современного состояния популяций и степени угрозы исчезновения. Информация о лекарственных свойствах растений и их химическом составе была получена из работ по фармакогнозии и современных фитохимических исследований [1].

Таким образом, исследование основано на комплексном анализе полевых и гербарных материалов, флористических публикаций и фармакологических источников, что позволило уточнить распространение редких лекарственных растений Северо-Казахстанской области и оценить их значение как потенциальных источников биологически активных веществ [3].

Результаты исследования

Согласно списку, нами представлены одиннадцать видов редких лекарственных растений, встречающихся на территории Северо-Казахстанской области. Из них к

семейству *Ranunculaceae* относятся 4 вида, по 1 виду в семействах *Poaceae*, *Liliaceae*, *Lythraceae*, *Droseraceae*, *Menyanthaceae*; к семейству *Orchidaceae* относятся 2 вида.

Полученный аннотированный список включает 11 видов сосудистых растений, относящихся к 7 семействам. Наиболее представлено семейство *Ranunculaceae* (4 вида): горицвет весенний (*Adonis vernalis* L.), адонис волжский (*Adonis volgensis* Steven ex DC.), прострел раскрытый (*Pulsatilla patens* (L.) Mill.) и прострел желтеющий (*Pulsatilla orientali-sibirica* Stepanov). Остальные семейства представлены одним видом: *Poaceae* - ковыль перистый (*Stipa pennata* L.), *Liliaceae* - лилия кудреватая (*Lilium martagon* L.), *Lythraceae* - водяной орех (*Trapa natans* L.), *Droseraceae* - росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.), *Menyanthaceae* - болотоцветник щитолистный (*Nymphoides peltata* (S.G.Gmel.) Kuntze); семейство *Orchidaceae* включает 2 вида - любку двулистную (*Platanthera bifolia* (L.) Rich.) и пальчатокоренник Фукса (*Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó). По категориям редкости Красной книги болотоцветник щитолистный отнесён к I категории, лилия кудреватая и пальчатокоренник Фукса - ко II, остальные восемь видов - к III категории.

Ковыль перистый (Қау боз; Stipa pennata L.).

Таксономия. Семейство злаковые (*Poaceae*), род *Stipa* (ковыль). В Красной книге Казахстана вид относится к III категории - сокращающийся в численности [1].

Описание и биология. Многолетний туфтующий злак 40-90 см высотой. Образует плотные дернины с зелёными гладкими стеблями. Узкие листья жёсткие, щетиновидные, с рассеянными бугорками и шипиками. Соцветие - рыхлая метёлка; единственная цветковая чешуя заканчивается длинной коленчато-изогнутой осью (перистая ость) длиной 20-40 см. Цветёт в апреле-мае [1]. Вид является мезофитом и индикатором лугово-степных условий, не переносящим избыточного увлажнения [1] (Рис.1).

Распространение и места обитания. Ареал степи Восточной Европы, Украины, России и Казахстана. Ковыль предпочитает сухие, солнечные места с супесчаными или чернозёмными почвами, в полупустыне проникает в пески, а в лесостепях растёт на тяжелых почвах. В Северо-Казахстанской области встречается в степях и на опушках сосновых боров (Сумское урочище, Кызылжарский район) и занесён в региональный список редких видов. Популяции часто сохраняются в реликтовых лесных массивах, где под пологом сосен сберегается уникальный генофонд редких растений [1].

Значение. В хозяйстве ковыль используется как корм для скота; животные поедают главным образом листья до выхода в трубку. Ковыль иногда выращивают как декоративный злак для оформления садов, поскольку его соцветия образуют серебристый «водопад».

Лекарственное. Используется в народной медицине, преимущественно в виде отваров на молоке, для лечения заболеваний щитовидной железы, при параличах после инсультов, а также в составе ванн при геморрое и аденоме простаты. Растение обладает способностью усиливать действие других лекарственных трав.

Угрозы и охрана. Основные угрозы - распашка степей под пашню, интенсивный выпас и использование гербицидов, что приводит к уничтожению мест обитания. В регионе действует запрет на распашку целинных земель и регламентирован пастбищный нажим; проводится восстановление деградированных степей и ограничение химического воздействия. Вид занесён в Красную книгу и охраняется на территории СКО [1, 2].

Лилия кудреватая, или саранка (Бұйра лалагүл; Lilium martagon L.).

Таксономия. Семейство лилейные (*Liliaceae*), род *Lilium* [1, 2]. В Красной книге Казахстана вид отнесён ко II категории как редкий, сокращающийся [2].

Описание. Многолетний травянистый геофит 30-150 см высотой с мощной луковицей (до 8 см), покрытой мясистыми чешуями. Стебель крепкий, с красноватыми пятнами. Листья ланцетные, собраны в мутовки. Цветки поникшие, пурпурные с тёмно-фиолетовыми пятнами, диаметром около 3-4 см, собраны в кисти (до 20 цветков); цветёт в июне-июле [1]. Плод шестигранная коробочка (Рис. 2).

Распространение и места обитания. Ареал охватывает Европу и Северную Азию; растение встречается на опушках лесов, полянах, лугах, по склонам холмов и в горах [2]. В Северо-Казахстанской области лилия кудреватая отмечена на территории Серебряного бора, на Вороньем острове и вдоль долины р. Есиль. Растёт на богатых среднеувлажнённых почвах, единично встречается в сосновых и широколиственных лесах.

Значение и применение. Луковицы содержат крахмал и использовались в пищу в сыром и варёном виде; их сушили, добавляли в каши, применяли как суррогат кофе. В народной медицине сок луковиц применялся как ранозаживляющее средство, настой против зубной боли; луковицы добавляли в корм животным для повышения удоя. Лилия является декоративным и медоносным растением.

Лекарственные свойства. С точки зрения фитотерапии луковицы лилии кудреватой содержат слизь и комплекс биологически активных веществ [4, 13]. В традиционной медицине Восточной Европы и Азии они применяются как диуретическое, эменагоговое, смягчающее и отхаркивающее средство; отмечено их использование для облегчения болей в сердечной области и при стенокардии. Этим компонентам приписывают способность улучшать состояние при заболеваниях дыхательных путей и сердечно-сосудистой системы.

Угрозы и охрана. Сбор луковиц и цветов для букетов, вырубка лесов и освоение земель угрожают популяциям. В регионе запрещена выкопка дикорастущих лилий, проводится охрана лесных биотопов и пропаганда искусственного культивирования вида. Вид включён в Красную книгу [2].

Горицвет весенний (Көктем жанаргүлі; Adonis vernalis L.).

*Таксономия. Семейство лютиковые (*Ranunculaceae), род *Adonis* [1]. В Красной книге Казахстана вид отнесён к III категории - редкий, сокращающийся в численности [2]. В области встречается также близкий вид адонис волжский (*Adonis* volgensis), отличающийся меньшими размерами и светло-жёлтыми цветками.

Описание. Горицвет весенний многолетнее растение до 50 см высотой с толстым корневищем. Стебли многочисленные, покрыты сильно рассечёнными листьями; крупные ярко-жёлтые цветки диаметром 4-7 см появляются ранней весной. Семена созревают в мае. Адонис волжский ниже (15-30 см), имеет более ветвистый стебель, мелкие цветки (3,5-4,5 см) и светлые листья, что отличает его от весеннего вида [1] (Рис. 3).

Распространение и местообитания. Оба вида распространены в лесостепных и степных районах Восточной Европы, Казахстана и Западной Сибири [19]. Они предпочитают хорошо дренированные чернозёмные почвы на сухих остепнённых склонах, опушках и суходольных лугах. В Северо-Казахстанской области горицвет встречается на суходольных и остепнённых лугах, по окраинам берёзовых колков и в окрестностях Петропавловска, Кызылжарского и Мамлютского районов [18].

Фармакологические свойства и применение. Трава адониса содержит сердечные гликозиды (адонитоксин, адонидин и др.) и используется для приготовления настоев, экстрактов, препарата «адонизид» и комбинированного средства «адонис-бром» [20].

Препараты применяют при хронической сердечной недостаточности, неврозах, судорожных состояниях и бессоннице [1]. В народной медицине горицвет используют как седативное и мочегонное средство. Все виды рода Adonis ядовиты, поэтому самостоятельное применение недопустимо: препараты адониса должны назначаться только врачом и применяться под строгим медицинским контролем.

Угрозы и охрана. Основные угрозы - распашка степей, сбор растений для лекарственных целей и выпас скота, что приводит к деградации местообитаний. Меры охраны: запрет на распашку степей, регулирование заготовки лекарственного сырья, создание ботанических участков для культивирования, мониторинг популяций и просветительская работа [1]. В списке редких растений Акмолинской области адонис весенний отмечен как вид, включённый в Красную книгу [18].



Рисунок 1. Ковыль перистый (Қау боз; *Stipa pennata* L.)



Рисунок 2. Лилия кудреватая (Бұйра лалагүл; *Lilium martagon* L.)



Рисунок 3. Горицвет весенний (Көктем жанаргүлі; *Adonis vernalis* L.)

Адонис волжский (Еділ жанаргүлі; Adonis volgensis Steven ex DC.).

Описание. Адонис волжский - многолетнее травянистое растение высотой 15-30 см с коротким тёмным корневищем [1]. Стебли у основания опушены, выше ветвятся; листья сильно пальчато-рассечённые на узкие доли. Цветки бледно-жёлтые диаметром 3,5-4,5 см; лепестки длиной 17-22 мм, цветение отмечается в конце апреля. Плоды округлые, волосистые, с характерным изогнутым носиком. Вид характеризуется как менее мощный и более ветвистый в сравнении с адонисом весенним (Рис. 4).

Распространение. Встречается в степях Северного Казахстана, заходит на опушки лесов и каменистые склоны. Популяции малы, поэтому вид внесён в Красную книгу (III категория) и охраняется на региональном уровне [2].

Значение. Лекарственные свойства аналогичны адонису весеннему; в народной медицине растение используют реже. Как и другие виды рода Adonis, растение ядовито, поэтому его самостоятельное применение недопустимо.

Охрана. Вид сохраняется на территории особо охраняемых природных территорий (ООПТ), включая Согровский и Мамлютский заказники. Проводятся успешные работы по сохранению генофонда ex situ: адонис волжский введен в культуру в коллекциях ботанических садов Казахстана с 1985 года, где характеризуется как устойчивый интродуцент [1].

Прострел раскрытый (Ашық күндызшөп; Pulsatilla patens (L.) Mill.).

Таксономия. Семейство лютиковые (*Ranunculaceae*), род *Pulsatilla* [5]. Вид включён в Красную книгу Казахстана как редкий, сокращающийся в численности (в источниках для данного региона указывается статус III категории) [1, 2].

Описание. Низкорослый многолетник высотой 7-15 см с тёмно-коричневым корневищем и опушёнными стеблями [5]. Корневые листья появляются после цветения, сердцевидные, глубоко рассечённые. Цветки одиночные, фиолетовые или сине-фиолетовые, колокольчатые и после раскрытия напоминают звезду. После цветения образуются пушистые семенные головки [5] (Рис. 5).

Распространение и места обитания. Прострел раскрытый распространён в степных и лесостепных районах Восточной Европы и Западной Сибири. В Северо-Казахстанской области встречается на сухих луговых склонах, остепнённых опушках и по окраинам берёзовых колков в Кызылжарском, Мамлютском, Жамбылском районах и окрестностях Петропавловска [5, 18]. Предпочитает хорошо дренированные песчаные и супесчаные почвы.

Значение. Растение ценят как ранний весенний первоцвет и декоративный вид для альпинариев. Трава использовалась в народной медицине как успокаивающее и противовоспалительное средство; из-за токсичности применять её следует только под наблюдением специалистов.

Лекарственные свойства. Настои и отвары прострела обладают седативным, диуретическим, эменагоговым и отхаркивающим действием. В народной медицине отвары применяли при бессоннице, невралгии, ревматизме и некоторых гинекологических заболеваниях. Самолечение недопустимо вследствие токсичных соединений [21].

Угрозы и охрана. Сбор растений для букетов, распашка степей и интенсивный выпас скота приводят к сокращению популяций [9]. Охранные меры включают запрет на распашку целинных участков, ограничение выпаса, контролируемое использование в декоративных целях и культивирование в ботанических садах. В региональных списках редких растений прострел раскрытый отмечен как исчезающий [22].

Прострел желтеющий (Сарғылт күндызшөп; Pulsatilla orientali-sibirica Stepanov).

Таксономия. Семейство лютиковые (*Ranunculaceae*), род *Pulsatilla.* Вид рассматривается как редкий; в Казахстане он традиционно приводится под названием прострел желтеющий (*Pulsatilla* flavescens (Zucc.) Juz.) и включен в Красную книгу Республики Казахстан (III категория) как вид с сокращающейся численностью [1, 2].

Описание. Многолетнее травянистое растение 7-15 см высотой с мощным корневищем и опушёнными побегами. Корневые листья рассечённые, появляются после цветения. Цветки широко-колокольчатые, жёлтые, с многочисленными тычинками [1]. После цветения появляются пушистые плоды (Рис. 6).

Распространение и места обитания. Прострел желтеющий распространён в Западной и Восточной Сибири; населяет сухие суходольные луга, остепнённые и песчаные склоны, опушки лиственничных и сосновых лесов [1]. В Северо-Казахстанской области встречается на сухих лугах, опушках и по окраинам берёзовых колков, однако встречается реже, чем прострел раскрытый.

Значение. Этот вид также ценится как декоративный весенний цветок. В народной медицине используется реже, но свойства сходны с прострелом раскрытым: настои и отвары применяют как седативное, диуретическое и эменагоговое средство.

Лекарственные свойства. Растение содержит те же биологически активные соединения, что и другие представители рода *Pulsatilla.* Отвары используют при бессоннице, бронхитах, нарушениях менструального цикла и суставных болях. Из-за токсичности необходимо соблюдать осторожность при применении [1].

Угрозы и охрана. Основные угрозы - распашка и освоение территорий, сбор растений для декоративных целей и выпас скота [2]. В районах произрастания необходимы запрет на распашку, регулирование рекреационной нагрузки и создание охранных участков. Разведение в ботанических садах и питомниках способствует сохранению вида.



Рисунок 4. Адонис волжский (Еділ жанаргүлі; *Adonis volgensis* Steven ex DC.)



Рисунок 5. Прострел раскрытый (Ашық күндызшөп; *Pulsatilla patens* (L.) Mill.)



Рисунок 6. Прострел желтеющий (Саргылт күндызшөп; *Pulsatilla orientali-sibirica* Stepanov)

Рогульник плавающий, или водяной орех (Су шілімі; Trapa natans L.).

Таксономия. Семейство дербенниковые (*Lythraceae*), род *Trapa* [18, 23]. В Красной книге Казахстана вид отнесён к III категории [2].

Описание. Однолетнее водное растение, развивающееся из плодов. Подводный стебель длиной 3,6-5 м вырастает к поверхности, где образует два типа листьев: подводные линейные и плавающие овальные розетки на вздутых черешках [23]. Белые четырёхлепестковые цветки распускаются в мае-июне; плоды чёрно-бурые орешки с роговидными отростками, созревают в августе-сентябре, а семена сохраняют всхожесть до 12 лет (Рис. 7).

Распространение и места обитания. Первичный ареал охватывает Южную Евразию и Северную Африку; растение растёт в озёрах, затонах и медленно текущих реках [2]. В Северо-Казахстанской области встречается небольшими группами в пойменных озёрах и старицах р. Есиль на глубине 0,5-1 м [14, 18].

Значение. Белое ядро водяного ореха съедобно; его употребляют сырым, варят, запекают в золе, перемалывают в муку для выпечки и консервируют [23]. Рогульник также применяют в народной медицине для лечения заболеваний сердца, почек и пищеварительной системы; в ландшафтном дизайне используют для оформления водоёмов и затенения воды.

Лекарственные свойства. В аюрведической практике плоды водяного ореха используются как антидиарейное, аппетитное, вяжущее, диуретическое и тонизирующее средство. Семена и орехи назначают при люмбаго, ангине, бронхитах, билиозных расстройствах, усталости и воспалениях. Из сока побегов готовят глазные капли, а плоды входят в состав травяных смесей для лечения бешенства, укусов ядовитых животных и кожных заболеваний. Кожура орехов обладает выраженной антибактериальной и гипогликемической активностью, что подтверждается современными фармакологическими исследованиями [23].

Угрозы и охрана. Осушение водоёмов, загрязнение и разрушение берегов угрожают популяциям. Вид охраняется; сбор и выкапывание растений запрещены. Необходимо контролировать качество воды и сохранять естественные пойменные водоёмы [9].

Росянка круглолистная (Теңге жапырақты шықшөп; Drosera rotundifolia L.).

Таксономия. Семейство росянковые (*Droseraceae*), род *Drosera* [18, 24]. В Красной книге Казахстана вид отнесен к III категории - редкий вид, находящийся под угрозой исчезновения [1, 2, 6].

Описание. Насекомоядный многолетник высотой до 25 см [6]. Листья собраны в прикорневую розетку, округлые (до 2 см в диаметре) с красноватыми железистыми волосками, выделяющими клейкие капли для ловли насекомых. Цветонос безлистный, с мелкими белыми цветками, собранными в завиток; семена мелкие, веретеновидные, созревают к сентябрю (Рис. 8).

Распространение и местообитания. Росянка распространена в бореальной зоне северного полушария и предпочитает сфагновые болота [6]. В Северо-Казахстанской области она встречается в Мещанском лесу, Жанажольском бору и Серебряном бору на торфяных болотах и сырых полянах [11]. Также подтверждено её произрастание по берегам озера Малое Карасье в национальном парке «Бурабай» [6].

Значение. Росянка содержит физиологически активные вещества (плюмбагин, дрозерон, флавоноиды, хиноны и органические кислоты) и использовалась в народной медицине для лечения заболеваний дыхательных путей и кашля [21]. Экстракты применяли при бронхитах и коклюше; растение также служило сырьём для настойки «розолио».

Лекарственные свойства. Современные фитохимические исследования подтверждают, что росянка обладает антибактериальными, антибиотическими, антисудорожными, демульгирующими и отхаркивающими свойствами. Экстракты растения расслабляют мышцы дыхательных путей и используются при лечении коклюша, бронхита, астмы и начальных стадий туберкулёза [8]. Наружно свежий сок применяют для устранения мозолей и бородавок, а настой используют как гипогликемическое средство. Из-за редкости вида сбор дикорастущих растений запрещён; лекарственное сырьё производят путём культивирования [22].

Угрозы и охрана. Главные угрозы - осушение болот, мелиоративные работы и сбор растений [2]. Для сохранения популяций необходима охрана болотных экосистем, запрет дренажных работ и ограничение рекреационной нагрузки. Вид охраняется в природных заказниках [22].

Болотоцветник щитолистый (Қалқанжапырақ батпақгүлі; Nymphoides peltata (S.G.Gmel.) Kuntze).

*Таксономия. Семейство вахтовые (*Menyanthaceae), род *Nymphoides*. Вид занесён в Красную книгу Казахстана (I категория) как находящийся под прямой угрозой исчезновения [1, 2].

Описание. Водное многолетнее растение с укореняющимся ползучим корневищем. Листья плавающие, округлые или овальные, с кожистой верхней поверхностью и желёзчатой нижней; цветки пятилепестковые, жёлтые, диаметром 2-5 см, собраны в зонтиковидные или щитковидные соцветия. Плоды коробочки бурого, жёлтого или зелёного цвета (Рис. 9).

Распространение и места обитания. Нимфейник встречается на низинных болотах, в озёрах и медленно текущих реках Европы и Центральной Азии. В Северо-Казахстанской области растёт в стоячих и медленно текущих водоёмах (затоны, старицы р. Есиль, озёра) глубиной 0,5-1 м [21]. Водная растительность региона часто приурочена к пойменным комплексам, которые подвержены значительным колебаниям гидрологического режима [18].

Значение. Растение выращивают как декоративное водное растение для оформления прудов и аквариумов.

Лекарственные свойства. В традиционной медицине Восточной Европы и Азии болотоцветник считается многофункциональным лекарственным растением. Свежие листья и побеги применяют как антигельминтное, диуретическое, жаропонижающее и молокогонное средство [24]. Измельчённую траву используют для лечения головных болей; сок прикладывают к ожогам, язвам, укусам змей и отёкам. Растение содержит биофлавоноид рутин, что объясняет его антиоксидантную активность [12, 25].

Угрозы и охрана. Осушение болот, изменение гидрологического режима, загрязнение воды и вытаптывание водной растительности угрожают популяциям [26]. Меры включают запрет на осушение и дренаж в местах произрастания, контроль уровня воды, ограничения на рекреацию и мониторинг. Вид занесён в Красную книгу и охраняется как исчезающий [1].



Рисунок 7. Водяной орех (Су шілімі; *Trapa natans* L.)



Рисунок 8. Росянка круглолистная (Теңге жапырақты шықшөп; *Drosera rotundifolia* L.)



Рисунок 9. Болотоцветник щитолистый (Қалқанжапырақ батпақгүлі; *Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) Kuntze)

Любка двулистая (Қосжапырақты жүпшөп; Platanthera bifolia (L.) Rich.).

Таксономия. Семейство орхидные (Orchidaceae), род Platanthera. Вид занесён в Красную книгу Казахстана (III категория) [1, 2].

Описание. Травянистый геофит высотой 20-50 см с двумя яйцевидными клубнями. Прикорневые листья (обычно два) супротивные, светлозелёные, 8-22 см длиной; стеблевые листья мелкие и ланцетные. Соцветие редкий цилиндрический колос высотой до 20 см с 8-40 белыми ароматными цветками; губа узкая, шпорец тонкий и слегка изогнутый; цветёт в июне-июле, плодоношение в августе-сентябре [1] (Рис. 10).

Места обитания и распространение. Любка двулистая встречается в светлых хвойных, лиственных и смешанных лесах на полянах, опушках и влажных малоплодородных почвах [2]. В Северо-Казахстанской области известна из лесных ландшафтов Петропавловского и Кызылжарского районов [18].

Значение. В древности считалась «приворотным» растением. В народной медицине отвар корней использовали при зубной боли, лихорадке, женских заболеваниях и отравлениях; высушенные клубни (салеп) применяли в кулинарии и ветеринарии. Растение обладает высокой декоративностью, но сбор корней запрещён [1].

Лекарственные свойства. Как и другие орхидеи, любка двулистая является источником салепа, крахмалистого порошка из высушенных клубней. Этот порошок богат слизью и, при разбавлении водой, образует успокаивающий и питательный желеобразный напиток. Его применяют при воспалениях слизистой желудочно-кишечного тракта, диетическом питании детей и слабых больных [1]. Салеп также добавляют в каши и выпечку как питательную добавку.

Угрозы и охрана. Вид страдает от вырубки лесов, осушения болот и вытаптывания [2]. Необходимо запретить сбор, регулировать выпас и рекреационную нагрузку, восстанавливать лесные экосистемы и культивировать вид в ботанических садах [1].

Пальчатокоренник Фукса (Фукс саусақтамыры; Dactylorhiza fuchsii (Druce) Soó).

Таксономия. Семейство орхидные (*Orchidaceae*), род *Dactylorhiza* [3]. Вид занесён в Красную книгу Казахстана (II категория) [2, 8].

Описание. Многолетнее травянистое растение 20-70 см высотой с пальчато-раздельными клубневидными корнями длиной 1,1-1,4 см. Обычно два клубня, редко до четырёх; придаточные корни достигают 6-10 см. Листьев 4-6: нижний широкий, обратнояйцевидный (14-20 см длиной), остальные продолговато-ланцетные, часто с продолговатыми пятнами. Соцветие густое, коническое (6-14 см); цветки лилово-розовые, губа трёхраздельная, со шпорцем 6-8 мм; цветёт в июне-начале июля; плод-коробочка [21] (Рис. 11).

Места обитания. Растёт на влажных лугах, болотистых низинах и в лесах с разрежённым травостоем. В Северо-Казахстанской области обнаружен в Мещанском лесу, Жанажольском бору и Серебряном бору. Предпочитает увлажнённые почвы и не переносит застоя воды [11].

Значение. Клубни пальчатокоренника содержат слизь, минеральные соли и пектины; их используют как обволакивающее средство при пищевых отравлениях и воспалительных заболеваниях желудочно-кишечного тракта [21]. Растение декоративно, применяется в садово-парковом дизайне и альпинариях.

Лекарственные свойства. Подземные части пальчатокоренника являются источником салепа – высокоценного лекарственного сырья, богатого полисахаридами и крахмалом [27]. Салеп, разведенный водой, образует густой гель, который используется в медицине как демульгирующее и обволакивающее средство. Его назначают для облегчения раздражений слизистой желудка и кишечника, при отравлениях, а также в качестве питательного компонента для ослабленных больных и детей [12].

Угрозы и охрана. Осушение болот, мелиорация, вырубка лесов, загрязнение почвы пестицидами и сбор клубней приводят к сокращению численности [2]. Меры охраны: запрет на осушение болот, регулирование применения агрохимикатов, ограничение сбора, культивирование вида в ботанических садах и регулярный мониторинг популяций [9].



Рисунок 10. Любка двулистая (Қосжапырақты жупшөп; *Platanthera bifolia* (L.) Rich.)



Рисунок 11. Пальчатокоренник Фукса (Фукс саусақтамыры; *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soó)

Обсуждение

Северо-Казахстанская область обладает огромным биологическим потенциалом фауны и флоры. Флора Северо-Казахстанской области представлена более 700 видами

растений [29]. Биологическое разнообразие растений обусловлено географическим положением региона, особенностями природно-климатических условий и факторов. Уникальность природного потенциала, заключается в сочетании лесостепной, степной природных зон с чернозёмными почвами, лесными массивами и водными объектами, представленными многочисленными озерами, которых в регионе насчитывается около трех тысяч [29]. Долина реки Есиль, способствует формированию уникальной луговой и влажной растительности [29]. Своеобразие природно-ресурсного потенциала региона привело к хозяйственному освоению целинных и залежных земель, что определило ранг редких и исчезающих растений, повлияло на экологическое состояние окружающей среды [31, 35]. В результате хозяйственного освоения территории произошло сокращение видового разнообразия, уменьшение ареалов распространения видов растений, их численного состава [35]. Дополнительным фактором, повлиявшим на уменьшение численного состава видов лекарственных растений, стал человек, который в больших масштабах стал заготавливать их [32]. Этому способствовала информация об их фармакологических свойствах и их действенной помощи при различных заболеваниях. Развитие транспортной сети сделало доступными многие места, где произрастают ставшими редкими лекарственные растения, что также способствовало сокращению видов, а природоохранный статус видов и территорий не улучшил ситуацию [35]. Многие виды становятся все более редкими, а некоторые находятся под угрозой исчезновения, очевидным является значение изучения особенностей видового состава редких лекарственных растений, занесенных в Красную книгу [35].

Пространственное распределение ареалов изучаемых видов, подтверждает влияние антропогенного фактора как основного. Встречаемость видов определена территориальными особенностями региона (Рис. 12).

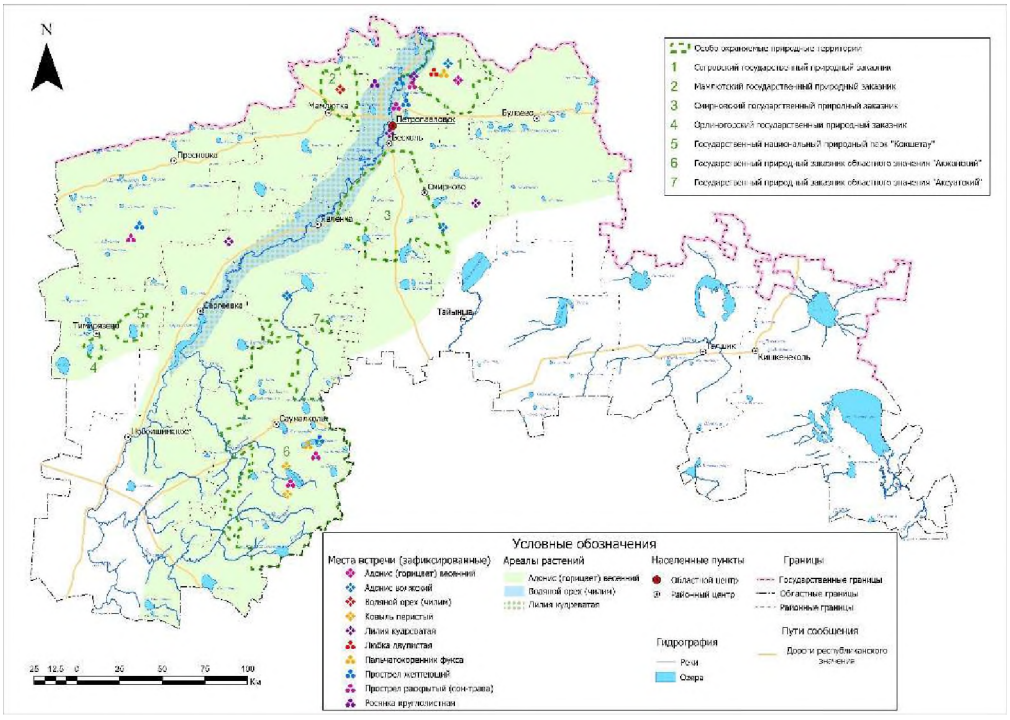


Рисунок 12. Места встреч, ареалы распространения редких видов лекарственных растений на территории Северо-Казахстанской области (Подготовлено авторами)

Установлено, что основные экосистемы мест произрастания редких лекарственных видов приурочены к лесной и лесостепной зоне: прежде всего это луга, леса и болота исследуемой территории [29]. Реликтовые природные объекты (сосновые боры, болота) являются одними из основных местообитаний большого числа изучаемых видов, так как они формируют уникальную среду, а также имеют природоохранный статус. Они представлены следующими памятниками природы: Жанажольский бор, Серебряный бор, Афонькин рям и др. Кроме того, важное значение для сохранения флоры имеют особо охраняемые природные территории, представленные заказниками республиканского и областного значения. Ареал распространения приведенных видов в степной зоне выделен на северо-западе области. Долина реки Есиль, как уже отмечалось, также представляет собой ареал мест обитания многих изучаемых растений.

Проведенное исследование подтвердило актуальность изучения поставленной проблемы, посредством предложенных методов. В свою очередь комплексный анализ научных материалов, проведенных полевых исследований, гербарного фонда позволил получить наиболее достоверную современную информацию по таксономии, описанию и биологии, ареалов распространения и обитания [29, 35]. Категории встречаемости и охранный статус исследуемых видов устанавливались на основании Красной книги Республики Казахстан, хотя последнее официальное издание было издано более десяти лет назад [29, 35]. Информация о лекарственных свойствах растений и их химическом составе была получена из научных работ по фитохимии [29, 30, 33].

На основании анализа выявлены основные угрозы сокращения и исчезновения видов, связанные с антропогенным фактором: распашка, интенсивный выпас скота, использование гербицидов [29, 31, 35].

Таким образом, в результате исследования определено и изучено 11 видов редких растений, входящих в 7 семейств, встречающихся на территории Северо-Казахстанской области [30, 35, 34]. Количество видов и места встреч, из года в год, могут существенно отличаться в связи с чрезмерной антропогенной нагрузкой. Приведённое пространственное размещение, места встреч и возможные ареалы произрастания исследуемых видов, позволило визуализировать их нахождение на территории региона. Это будет способствовать созданию особо охраняемых территорий и дальнейшим мониторинговым исследованиям изучаемых видов.

Заключение

В результате анализа литературных источников, материалов полевых исследований и гербарных данных уточнён современный аннотированный список редких лекарственных растений Северо-Казахстанской области, включающий 11 видов сосудистых растений из 7 семейств (*Ranunculaceae*, *Poaceae*, *Liliaceae*, *Lythraceae*, *Droseraceae*, *Menyanthaceae* и *Orchidaceae*); большинство видов отнесено к III категории редкости. Они приурочены преимущественно к степным, лесостепным, луговым и болотным местообитаниям, сосновым борам и пойменным водоёмам долины реки Есиль, имеющим высокое значение для сохранения флористического разнообразия региона.

Рассмотренные виды обладают значительным фармакологическим потенциалом, поскольку содержат сердечные гликозиды, слизи, флавоноиды, дубильные вещества и другие биологически активные соединения. Вместе с тем виды родов *Adonis* и *Pulsatilla* ядовиты, а редкий и охраняемый статус большинства растений исключает неконтролируемую заготовку дикорастущего сырья и требует развития культивирования, *ex situ*-сохранения и мониторинга природных популяций.

Основными факторами сокращения численности являются распашка степей, осушение болот, изменение гидрологического режима, вырубка лесов, выпас, рекреационная нагрузка и сбор растений. Для сохранения видов необходимы мониторинг популяций, охрана местообитаний, расширение сети особо охраняемых природных территорий и экологическое просвещение населения. Полученные материалы могут быть использованы при обновлении региональных флористических списков, разработке природоохранных мероприятий и дальнейшем изучении фармакологического потенциала редких растений региона.

Литература:

1. Гемеджиева Н.Г., Димеева Л.А., Ситпаева Г.Т., Грудзинская Л.М. Состояние и перспективы современных исследований лекарственных растений Казахстана // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2025. – Т. 24, № 1. – С. 30-34. https://doi.org/10.14258/pbssm.2025007
2. Красная книга Казахстана. Т. 2: Растения. - Астана: ТОО «АртPrintXXI», 2014. – 452 с.
3. Grudzinskaya L., Gemejiyeva N., Karzhaubekova Zh. The Kazakhstan medicinal flora survey in a leading families volume // Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography Series. - 2020. - Vol. 100. - P. 39-51. https://doi.org/10.31489/2020bmg4/39-51
4. Bokov D.O., Luferov A.N., Krasnyuk I.I., Bessonov V.V. Ethno-pharmacological review on the wild edible medicinal plant, *Lilium martagon* L. // Tropical Journal of Pharmaceutical Research. - 2019. - Vol. 18, № 7. - P. 1559-1564. https://doi.org/10.4314/tjpr.v18i7.29
5. Aidarkhanova G., Kubentayev S., Kukhar Y., Urazalina A. Current state of populations, resources, and biological activity *Pulsatilla patens* (*Ranunculaceae*) in Northern Kazakhstan // Biodiversitas Journal of Biological Diversity. - 2022. - Vol. 23. - P. 2311-2320. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230509
6. Хрусталева И.А. и др. Редкие виды растений национального парка «Бурабай» (Центральный Казахстан) // Вестник ТГУ. Биология. – 2012. – №4 (20). – С. 118-126. https://doi.org/10.17223/19988591/20/10
7. Закирина А.О. и др. Солтүстік Қазақстан облысы топырақ жағдайын геоэкологиялық бағалау // Молодежь и наука - 2020: материалы конференции. - Петропавловск: СКГУ, 2020. - Т. 1. - С. 68-72.
8. Kenzhina K.D. et al. Protected, Rare and Medicinal Plant Species of the Buiratau State National Natural Park (Republic of Kazakhstan) // OnLine Journal of Biological Sciences. - 2025. - Vol. 25, № 2. - P. 437-447. https://doi.org/10.3844/ojbsci.2025.437.447
9. Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2025 года №1206 «Об утверждении Концепции сохранения и устойчивого использования биоразнообразия в Республике Казахстан на 2026-2035 годы» [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://adilet.zan.kz
10. Абильтаева А.А., Вилков В.С. Видовой состав сорной растительности в окрестностях города Петропавловска // Вестник Северо-Казахстанского университета имени М. Козыбаева. - 2020. - № 4 (49). - С. 9-14.
11. Галактионова Е.В. Анализ лихено- и бриофлоры болот Черное и Афонькин рям Северо-Казахстанской области // Молодежь и наука-2020. - Петропавловск: СКГУ, 2020. - С. 1-26.
12. Berganayeva G. et al. Medicinal Plants of the Flora of Kazakhstan Used in the Treatment of Skin Diseases // Molecules. - 2023. - Vol. 28, № 10. - Article 4192. https://doi.org/10.3390/molecules28104192
13. Plants of the World Online (POWO). Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://powo.science.kew.org/ (дата обращения: 12.06.2026).
14. Sokoloff D.D. et al. Kazakhstan Has an Unexpected Diversity of Medicinal Plants of the Genus *Acorus* // Plants. - 2024. - Vol. 13. - Article 1978. https://doi.org/10.3390/plants13141978
15. Грудзинская Л.М. и др. Аннотированный список лекарственных растений Казахстана // Труды Института ботаники и фитоинтродукции. - 2014. - Т. 20, № 1. - 200 с.
16. Аралбай Н.К. К вопросу сохранения биологического и этнокультурного разнообразия Казахстана // Вестник КазНУ. Серия биологическая. - 2011. – № 6 (52). - С. 9-12.
17. Бакубаев Д.Р. Продуктивность травостоя при весеннем сроке разделки дернины в условиях Северо-Казахстанской области // Молодежь и наука - 2020. - Петропавловск: СКГУ, 2020. - С. 280.

18. Тлеубергенова Г.С., Кузнецова М.А., Кеженева Д.Д. Лекарственные растения Кызылжарского района Северо-Казахстанской области // Вестник Северо-Казахстанского университета имени М. Козыбаева. - 2022. - № 3 (55). - С. 58-67. https://doi.org/10.54596/2309-6977-2022-3-58-67
19. Ақмағамбет Ш.Б. Видовое разнообразие отряда чешуекрылых Есильского района Северо-Казахстанской области // Вестник СКУ. – 2018. – № 2 (39). – С. 11-16.
20. Муравьева Д.А., Самылина И.А., Яковлев Г.П. Фармакогнозия: учебник. - М.: Медицина, 2002. - 656 с.
21. Галактионова Е.В. Лекарственные растения, входящие в состав флоры Северо-Казахстанской области // Исследования в области естественных наук. - 2012. - № 5 [Электронный ресурс]. – URL: https://science.snauka.ru/2012/05/364
22. Arysbaeva R. et al. Preservation of ex-situ gene pool of rare medicinal plant species in Kazakhstan // BIO Web of Conferences. - 2024. - Vol. 100. - Article 04020. https://doi.org/10.1051/bioconf/202410004020
23. Das P. et al. Antidiabetic Activity of *Trapa natans* Fruit Peel Extract Against Streptozotocin Induced Diabetic Rats // Global Journal of Pharmacology. – 2011. - Vol. 5. - P. 186-190.
24. Kim T.-Y. et al. 3‴-O-Foliamenthoyl-Rutin, a New Flavonoid Glycoside from the Roots of *Nymphoides peltata* // Plants. - 2023. - Vol. 12, № 24. - Article 4083. https://doi.org/10.3390/plants12244083
25. Levaya Ya., Atazhanova G., Gabe V., Badekova K. A Review of Botany, Phytochemistry, and Biological Activities of Eight *Salvia* Species Widespread in Kazakhstan // Molecules. - 2025. - Vol. 30, № 5. - Article 1142. https://doi.org/10.3390/molecules30051142
26. Кабанова С.А. Особенности сохранения генофонда лекарственных растений в условиях Северного Казахстана // Известия НАН РК. - 2024. - № 8. - С. 112-126.
27. Карпук В.В. Фармакогнозия: учебная программа для вузов. - 2017. - 16 с.
28. International Plant Names Index (IPNI) [Электронный ресурс]. - URL: https://www.ipni.org/
29. Курбанбаева Ж.Д., Кеженева Д.Д. Ранневесенние лекарственные растения Согровского заказника Северо-Казахстанской области // Вестник Северо-Казахстанского университета имени М. Козыбаева. - 2025. - № 2 (66). - С. 52-58. https://doi.org/10.54596/2958-0048-2025-2-52-58
30. Syraiyl S., Ydyrys A. et al. Phytochemical composition and antioxidant activity of three medicinal plants from southeastern Kazakhstan // International Journal of Biology and Chemistry. – 2022. – Vol. 15, № 1. - P. 73-78. https://doi.org/10.26577/ijbch.2022.v15.i1.08
31. Tleuberlina O.B., Mamurova A.T. et al. Distribution and geobotanical studies of the medicinal plant *Capparis herbacea* Willd. in the southern regions of Kazakhstan // Experimental Biology. – 2023. – № 94. https://doi.org/10.26577/eb.2023.v94.i1.04
32. Orhan I.E., Şekeroğlu N. Editorial on the 9th International Mediterranean Symposium on Medicinal and Aromatic Plants (MESMAP-10) // Phytochemistry Letters. - 2024. - Vol. 61. - P. 104-105. https://doi.org/10.1016/j.phytol.2024.04.007
33. Kaspieva N.N., Atimtaykyzy A. Morphological features of the medicinal plant *Archangelica officinalis*, growing on the territory of the East Kazakhstan // Farmaciâ Kazahstana. - 2025. - P. 101-110. https://doi.org/10.53511/pharmkaz.2025.2.10
34. Kubentayev S., Gemejiyeva N., Mukhtubaeva S., Razhanov M., Izbastina K. Assessment of raw material reserves of promising medicinal plants in the territory of Western Altai in Eastern Kazakhstan // BIO Web of Conferences. - 2024. - Vol. 100. - Article 04017. https://doi.org/10.1051/bioconf/202410004017
35. Yeginbay A., Aripova S., Abubakirova A., Mutalova M., Aitkulova R., Akhmadaliev B.J., Burabaev A., Narimanov A.A. Biology of the medicinal plant *Arum korolkowii* Regel (Arum) // Plant Science Today. - 2024. - Early Access. https://doi.org/10.14719/pst.3137

References:

1. Gemejiyeva N.G., Dimeyeva L.A., Sitpayeva G.T., Grudzinskaya L.M. Current State and Prospects of Modern Research on Medicinal Plants of Kazakhstan // Problems of Botany of Southern Siberia and Mongolia. – 2025. – Vol. 24, No. 1. – P. 30–34. https://doi.org/10.14258/pbssm.2025007
2. Red Book of Kazakhstan. Vol. 2: Plants. - Astana: ArtPrintXXI LLP, 2014. - 452 p.
3. Grudzinskaya L., Gemejiyeva N., Karzhaubekova Zh. The Kazakhstan medicinal flora survey in a leading family's volume // Bulletin of the Karaganda University. Biology. Medicine. Geography Series. - 2020. - Vol. 100. - P. 39-51. https://doi.org/10.31489/2020bmg4/39-51

4. Bokov D.O., Luferov A.N., Krasnyuk I.I., Bessonov V.V. Ethno-pharmacological review on the wild edible medicinal plant, Lilium martagon L. // Tropical Journal of Pharmaceutical Research. - 2019. - Vol. 18, No. 7. - P. 1559-1564. https://doi.org/10.4314/tjpr.v18i7.29
5. Aidarkhanova G., Kubentayev S., Kukhar Y., Urazalina A. Current state of populations, resources, and biological activity Pulsatilla patens (Ranunculaceae) in Northern Kazakhstan // Biodiversitas Journal of Biological Diversity. - 2022. - Vol. 23. - P. 2311-2320. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230509
6. Khrustaleva I.A. et al. Rare plant species of Burabay National Park (Central Kazakhstan) // Tomsk State University Bulletin. Biology. - 2012. - No. 4 (20). - P. 118-126. https://doi.org/10.17223/19988591/20/10
7. Zakirina A.O. et al. Geoecological assessment of the soil conditions of the North Kazakhstan Region // Youth and Science-2020: Conference Proceedings. - Petropavlovsk: North Kazakhstan State University, 2020. - Vol. 1. - P. 68-72.
8. Kenzhina K.D. et al. Protected, Rare and Medicinal Plant Species of the Buiratau State National Natural Park (Republic of Kazakhstan) // OnLine Journal of Biological Sciences. - 2025. - Vol. 25, No. 2. - P. 437-447. https://doi.org/10.3844/ojbsci.2025.437.447
9. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated December 31, 2025 No. 1206 "On Approval of the Concept for the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity in the Republic of Kazakhstan for 2026-2035" [Electronic resource]. - Available at: https://adilet.zan.kz
10. Abiltaeva A.A., Vilkov V.S. Species composition of weed vegetation in the vicinity of Petropavlovsk // Bulletin of North Kazakhstan University named after M. Kozybayev. - 2020. - No. 4 (49). - P. 9-14.
11. Galaktionova E.V. Analysis of the lichen and bryoflora of the Chornoe and Afonkin Ryam bogs of the North Kazakhstan Region // Youth and Science-2020. - Petropavlovsk: North Kazakhstan State University, 2020. - P. 1-26.
12. Berganayeva G. et al. Medicinal Plants of the Flora of Kazakhstan Used in the Treatment of Skin Diseases // Molecules. - 2023. - Vol. 28, No. 10. - Article 4192. https://doi.org/10.3390/molecules28104192
13. Plants of the World Online (POWO). Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew [Electronic resource]. - Available at: https://powo.science.kew.org/ (accessed: 12.06.2026).
14. Sokoloff D.D. et al. Kazakhstan Has an Unexpected Diversity of Medicinal Plants of the Genus Acorus // Plants. - 2024. - Vol. 13. - Article 1978. https://doi.org/10.3390/plants13141978
15. Grudzinskaya L.M. et al. Annotated list of medicinal plants of Kazakhstan // Proceedings of the Institute of Botany and Phytointroduction. - 2014. - Vol. 20, No. 1. - 200 p.
16. Aralbay N.K. On the issue of preserving the biological and ethnocultural diversity of Kazakhstan // Bulletin of KazNU. Biological Series. - 2011. - No. 6 (52). - P. 165-171.
17. Bakubaev D.R. Productivity of herbage under spring sod cutting conditions in the North Kazakhstan Region // Youth and Science-2020. - Petropavlovsk: North Kazakhstan State University, 2020. - P. 280.
18. Tleubergenova G.S., Kuznetsova M.A., Kezheneva D.D. Medicinal plants of the Kyzylzhar district of the North Kazakhstan Region // Bulletin of North Kazakhstan University named after M. Kozybayev. - 2022. - No. 3 (55). - P. 58-67. https://doi.org/10.54596/2309-6977-2022-3-58-67
19. Akmagambet Sh.B. Species diversity of the order Lepidoptera of the Yesil district of the North Kazakhstan Region // Bulletin of North Kazakhstan University. - 2018. - No. 2 (39). - P. 11-16.
20. Muravieva D.A., Samylina I.A., Yakovlev G.P. Pharmacognosy: Textbook. - Moscow: Medicine, 2002. - 656 p.
21. Galaktionova E.V. Medicinal plants included in the flora of the North Kazakhstan Region // Research in the Field of Natural Sciences. - 2012. - No. 5 [Electronic resource]. - URL: https://science.snauka.ru/2012/05/364
22. Arysbaeva R. et al. Preservation of ex-situ gene pool of rare medicinal plant species in Kazakhstan // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 100. - Article 04020. https://doi.org/10.1051/bioconf/202410004020
23. Das P. et al. Antidiabetic Activity of Trapa natans Fruit Peel Extract Against Streptozotocin Induced Diabetic Rats // Global Journal of Pharmacology. - 2011. - Vol. 5. - P. 186-190.
24. Kim T.-Y. et al. 3‴-O-Foliamenthoyl-Rutin, a New Flavonoid Glycoside from the Roots of Nymphoides peltata // Plants. – 2023. - Vol. 12, No. 24. - Article 4083. https://doi.org/10.3390/plants12244083
25. Levaya Ya., Atazhanova G., Gabe V., Badekova K. A Review of Botany, Phytochemistry, and Biological Activities of Eight Salvia Species Widespread in Kazakhstan // Molecules. - 2025. - Vol. 30, No. 5. - Article 1142. https://doi.org/10.3390/molecules30051142

26. Kabanova S.A. Features of the preservation of the gene pool of medicinal plants in Northern Kazakhstan // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. - 2024. - No. 8. - P. 112-126.
27. Karpuk V.V. Pharmacognosy: University Curriculum. - 2017. - 16 p.
28. International Plant Names Index (IPNI) [Electronic resource]. - URL: https://www.ipni.org/
29. Kurbanbaeva Zh.D., Kezheneva D.D. Early spring medicinal plants of the Sogrovsky Nature Reserve of the North Kazakhstan Region // Bulletin of North Kazakhstan University named after M. Kozybayev. - 2025. - No. 2 (66). - P. 52-58. https://doi.org/10.54596/2958-0048-2025-2-52-58
30. Syraiyl S., Ydyrys A. et al. Phytochemical composition and antioxidant activity of three medicinal plants from southeastern Kazakhstan // International Journal of Biology and Chemistry. - 2022. - Vol. 15, No. 1. - P. 73-78. https://doi.org/10.26577/ijbch.2022.v15.i1.08
31. Tleuberlina O.B., Mamurova A.T. et al. Distribution and geobotanical studies of the medicinal plant Capparis herbacea Willd. in the southern regions of Kazakhstan // Experimental Biology. - 2023. - No. 94. https://doi.org/10.26577/eb.2023.v94.i1.04
32. Orhan I.E., Şekeroğlu N. Editorial on the 9th International Mediterranean Symposium on Medicinal and Aromatic Plants (MESMAP-10) // Phytochemistry Letters. - 2024. - Vol. 61. - P. 104-105. https://doi.org/10.1016/j.phytol.2024.04.007
33. Kaspieva N.N., Atimtaykyzy A. Morphological features of the medicinal plant Archangelica officinalis, growing on the territory of the East Kazakhstan // Farmaciâ Kazahstana. - 2025. - P. 101-110. https://doi.org/10.53511/pharmkaz.2025.2.10
34. Kubentayev S., Gemejiyeva N., Mukhtubaeva S., Razhanov M., Izbastina K. Assessment of raw material reserves of promising medicinal plants in the territory of Western Altai in Eastern Kazakhstan // BIO Web of Conferences. - 2024. - Vol. 100. - Article 04017. https://doi.org/10.1051/bioconf/202410004017
35. Yeginbay A., Aripova S., Abubakirova A., Mutalova M., Aitkulova R., Akhmadaliev B.J., Burabaev A., Narimanov A.A. Biology of the medicinal plant Arum korolkowii Regel (Arum) // Plant Science Today. - 2024. - Early Access. https://doi.org/10.14719/pst.3137

Information about the authors

P.S. Dmitriyev – professor, Candidate of Biological Sciences, Department of Geography and Ecology, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: dmitriev_pavel@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2712-3508;
E.V. Galaktionova – senior lecturer, Department of Biology, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: evgalaktionova@ku.edu.kz; ORCID:0009-0007-9110-9747;
I.A. Zuban – senior lecturer, Department of Biology, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: zuban_ia@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0839-0085;
A.A. Klimavichute – corresponding author, master's student, Department of Biology, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: alice4689@mail.ru;
I.A. Sedelnikov – senior lecturer, Department of Geography and Ecology, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: igor_sko_kz_94@mail.ru; ORCID: 0000-001-9921-1825.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-107-121
УДК 581.2
МРНТИ 68.35.43

АНТИФУНГАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И GC–MS-ПРОФИЛЬ ГИДРОЭТАНОЛЬНОГО ЭКСТРАКТА *CHELIDONIUM MAJUS* L. В ОТНОШЕНИИ FUSARIUM SPP. КАРТОФЕЛЯ

Достемесова А.Б.[1], Камарова Д.Н.[2*], Әжімахан М.Ә.[2], Сүлейман М.А.[2], Хасанов В.Т.[2], Избастина К.С.[2, 3*], Мухтубаева С.К.[3, 4], Шарипова М.Ж.[4]

[1] Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Астана, Казахстан*
[3]«Астанинский ботанический сад» филиал РГП на ПХВ «Институт ботаники и фитоинтродукции» Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, Астана, Казахстан*
[4]Международный университет Астана, Астана, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: izbastina.k@gmail.com; dkamarova10@gmail.com

Аннотация

В статье представлен предварительный GC-MS-профиль и антифунгальная активность гидроэтанольного экстракта *Chelidonium majus* L., собранного в высокогорных условиях хребта Кунгей Алатау (Казахстан). Антифунгальную активность оценивали *in vitro* в отношении одного изолята *Fusarium* spp., выделенного из клубней картофеля с симптомами фузариозного поражения. Экстракты получали методом Сокслета с использованием 70% этанола. Площадь мицелиального роста определяли по цифровым изображениям с использованием программы ImageJ. Эксперимент проводили в четырех повторностях (n = 4). В варианте с гидроэтанольным экстрактом *C. majus* №1 площадь мицелиального роста *Fusarium* spp. составила 60,25 ± 4,08%, тогда как в контроле растворителя с 70% этанолом – 72,50 ± 2,65%. Ингибирование мицелиального роста относительно контроля растворителя составило 16,9 %. Методом GC-MS в составе экстракта предположительно идентифицировано 11 соединений, среди которых значительную долю составляли этиловые эфиры ненасыщенных жирных кислот (43,4%), фитол (13,8%) и соединение 4H-Bis[1,3]benzodioxolo[5,6-a:4',5'-g]quinolizine, 6,7,12b,13-tetrahydro-, (±) – (30,2%), предположительно идентифицированное по библиотечному совпадению масс-спектров. Полученные результаты свидетельствуют об ингибирующей активности гидроэтанольного экстракта *C. majus* в отношении мицелиального роста *Fusarium* spp. *in vitro* и обосновывают необходимость дальнейших исследований.

Ключевые слова: *Chelidonium majus* L., GC-MS, антифунгальная активность, этиловые эфиры жирных кислот, фитол, алкалоиды, *Fusarium*, фитопатогены.

CHELIDONIUM MAJUS L. ӨСІМДІГІНІҢ ГИДРОЭТАНОЛ ЭКСТРАКТІСІНІҢ КАРТОП FUSARIUM SPP ҚАРСЫ АНТИФУНГАЛЬДЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ ЖӘНЕ GC–MS ПРОФИЛІ

Достемесова А.Б.[1], Камарова Д.Н.[2*], Әжімахан М.Ә.[2], Сүлейман М.А.[2], Хасанов В.Т.[2], Избастина К.С.[2, 3*], Мухтубаева С.К.[3, 4], Шарипова М.Ж.[4]

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

[2]«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан*

[3]Қазақстан Республикасы экология және табиғи ресурстар министірлігі орман шаруашылығы және жануарлар дүниесі комитетінің «Ботаника және фитоинтродукция институты, Астана, Қазақстан*

[4]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

[*]Хат-хабар үшін авторы: izbastina.k@gmail.com; dkamarova10@gmail.com

Аңдатпа

Мақалада Күнгей Алатау (Қазақстан) жотасының биік таулы жағдайларында жиналған *Chelidonium majus* L. гидроэтанолдық сығындысының алдын ала GC-MS-профилі және антифунгальдық белсенділігі ұсынылған. Антифунгалдық белсенділік фузариоздық зақымдану белгілері бар картоп түйнектерінен бөлініп алынған *Fusarium* spp. изоляттарына қатысты *in vitro* жағдайында бағаланды. Экстрактілер 70% этанолды пайдалана отырып, Сокслет әдісімен алынды. Мицелийлік өсу ауданы ImageJ бағдарламасы арқылы цифрлық кескіндерді талдау негізінде анықталды. Эксперимент төрт қайталымда жүргізілді (n = 4). *C. majus* №1 гидроэтанолды экстрактісі қолданылған нұсқада *Fusarium* spp. мицелийлік өсу ауданы 60,25 ± 4,08% құрады, ал 70% этанолдан тұратын еріткіш бақылауында бұл көрсеткіш 72,50 ± 2,65% болды. Еріткіш бақылауымен салыстырғанда мицелийлік өсудің тежелуі 16,9% құрады. GC-MS әдісімен экстракт құрамынан 11 қосылыс болжамды түрде идентификацияланды. Олардың едәуір бөлігін қанықпаған май қышқылдарының этил эфирлері (43,4%), фитол (13,8%) және 4H-Bis[1,3]benzodioxolo [5,6-a:4',5'-g]quinolizine, 6,7,12b,13-tetrahydro-, (±)- (30,2%) құрады. Қосылыстар масс-спектрлердің кітапханалық сәйкестігі негізінде анықталды. Алынған нәтижелер *C. majus* гидроэтанолды экстрактісінің *Fusarium* spp. мицелийлік өсуіне қатысты ингибиторлық белсенділігін көрсетеді және оның антифунгалдық қасиеттерін одан әрі зерттеу қажеттілігін негіздейді.

Кілт сөздер: *Chelidonium majus* L., газдық хроматография-масс-спектрометрия, саңырауқұлаққа қарсы белсенділік, май қышқылдарының этил эфирлері, фитол, алкалоидтар, *Fusarium*, өсімдік патогендері.

ANTIFUNGAL ACTIVITY AND GC–MS PROFILING OF A HYDROETHANOLIC EXTRACT OF *CHELIDONIUM MAJUS* L. AGAINST POTATO-ASSOCIATED FUSARIUM SPP

A.B. Dostemesova[1], D.N. Kamarova[2*], M.A. Azhimakhan[2], M.A. Suleiman[2], V.T. Khassanov[2], K.S. Izbastina[2, 3*], S.K. Mukhtubaeva[3,4], M.Z. Sharipova[4]

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

[2]NCJSC «S. Seiffulin Kazakh Agro Technical University», Astana, Kazakhstan*

[3]RSE on the REM "Astana Botanical Garden" Committee of Forestry and Animal World of the Ministry of Ecology and Nature Conservation, Astana, Kazakhstan*

[4]Astana International University, Astana, Kazakhstan

[*]Corresponding author: izbastina.k@gmail.com; dkamarova10@gmail.com

Abstract

The article presents a preliminary GC-MS profile and antifungal activity of a hydroethanol extract of *Chelidonium majus* L. collected in the high-altitude conditions of the Kungei Alatau range (Kazakhstan). Antifungal activity was evaluated *in vitro* against one *Fusarium* spp. isolated from potato tubers with symptoms of fusarium lesion.

The extracts were obtained by Soxhlet extraction using 70% ethanol. The mycelial growth area was determined from digital images using ImageJ software. The experiment was carried out in four repetitions (n = 4). In the treatment with hydroethanolic extract of *C. majus* No. 1, the mycelial growth area of *Fusarium* spp. was 60.25 ± 4.08%, compared with 72.50 ± 2.65% in the solvent control containing 70% ethanol. Inhibition of mycelial growth relative to the solvent control was 16.9%. GC-MS analysis tentatively identified 11 compounds in the extract, among which ethyl esters of unsaturated fatty acids accounted for a substantial proportion (43.4%), followed by phytol (13.8%) and the compound 4H-Bis[1,3]benzodioxolo[5,6-a:4',5'-g]quinolizine, 6,7,12b,13-tetrahydro-, (±) – (30.2%), tentatively identified based on mass-spectral library matching. The results obtained indicate the inhibitory activity of the hydroethanol extract of *C. majus* against the mycelial growth of *Fusarium* spp. *in vitro* and justify the need for further research.

Keywords: *Chelidonium majus* L., GC-MS, antifungal activity, ethyl esters of fatty acids, phytol, alkaloids, *Fusarium*, plant pathogens.

Введение

Chelidonium majus L. (*Papaveraceae*) – это многолетнее травянистое растение, широко распространенное в умеренных и субтропических районах Северного полушария, включая Европу и Азию. Вид встречается в лиственных лесах, кустарниковых зарослях, парках, садах и других местообитаниях с влажными, богатыми азотом почвами [1-6].

Одной из характерных биологических особенностей вида является наличие оранжевого млечного сока (латекса). В этом соке есть комплекс биологически активных вторичных метаболитов [7–8]. *C. majus* долго используют в традиционной медицине, в основном при кожных болезнях и воспалениях. Современные исследования считают, что основной биологический эффект растения связан с изохинолиновыми алкалоидами. Эти вещества имеют антимикробные, противовоспалительные, противовирусные, антиоксидантные и цитотоксические свойства. Для экстрактов и отдельных алкалоидов *C. majus* также описывают возможное противоопухолевое и иммуномодулирующее действие [9–12]. При этом использовать *C. majus* нужно с осторожностью из-за возможных токсических эффектов, в том числе гепатотоксичности [13–14]. Химический состав *C. majus* отличается тем, что в нем больше всего изохинолиновых алкалоидов. Это бензофенантридиновые, протоберберинovые и протопиновые производные, такие как хелидонин, сангвинарин, хелеритрин, берберин, коптизин и протопин. Кроме алкалоидов, в растении нашли фенольные кислоты, флавоноиды, терпеноиды, стеролы и другие вторичные метаболиты. Количество и тип этих соединений зависят от органа растения. Также на состав влияют фаза вегетации, условия произрастания и географическое происхождение сырья [15–16]. В то же время биологическая активность вторичных метаболитов *C. majus* интересна не только для фармакологии, но и для защиты растений. Фузариозные инфекции, вызываемые грибами рода *Fusarium*, относятся к числу экономически значимых болезней картофеля (*Solanum tuberosum*). Рост устойчивости фитопатогенов к синтетическим фунгицидам заставляет искать экологически безопасные замены на основе растительного сырья. Ранее была показана антимикробная и антигрибковая активность экстрактов *C. majus* по отношению к разным фитопатогенам [17–18]. Хотя вид хорошо изучен, данных о фитохимических свойствах и биологической активности популяций *C. majus* в Центральной Азии пока мало.

Настоящая работа направлена на определение химического состава гидроэтанольного экстракта *C. majus* методом GC-MS и оценку его антифунгальной активности в отношении *Fusarium* spp., вызывающих фузариозные заболевания картофеля.

Материалы и методы

Отбор растительного материала

Надземная часть растений собрана в период цветения в природных растительных сообществах хребта Кунгей Алатау на высоте 1638–1710 м над уровнем моря [19].

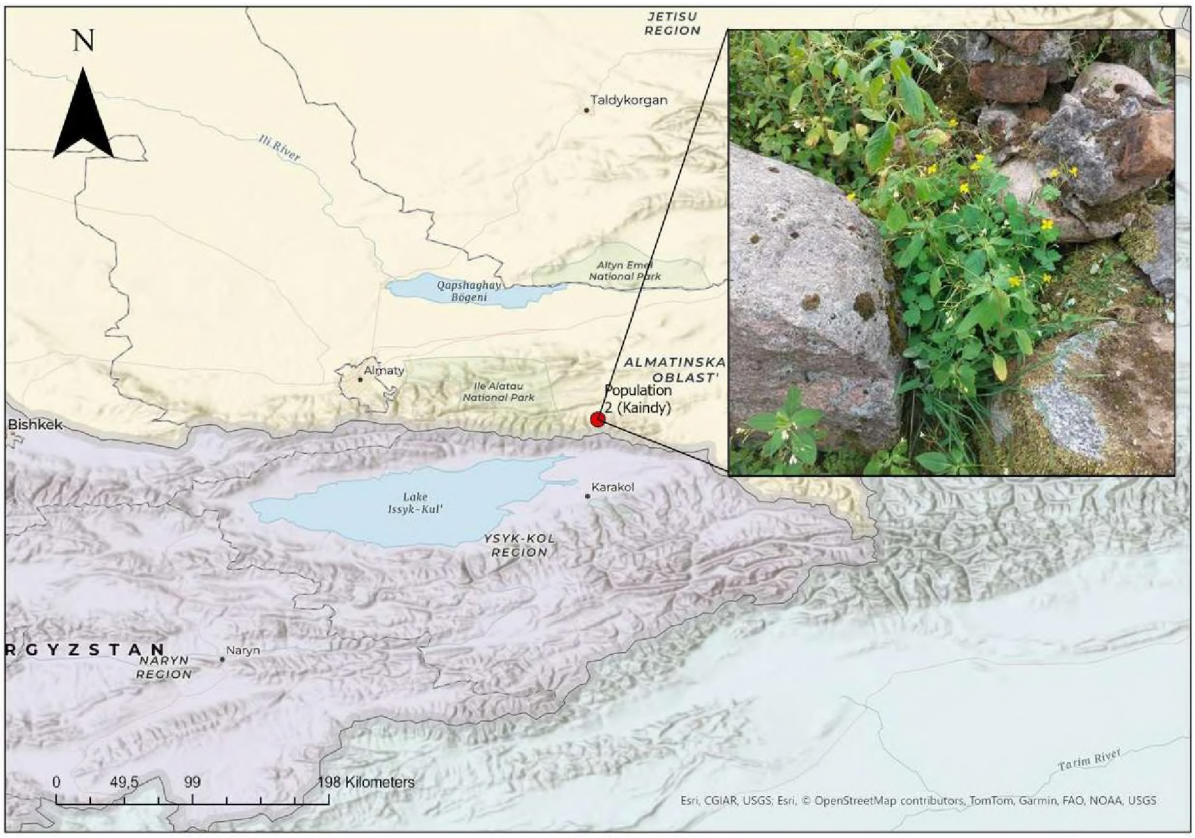


Рисунок 1. Место сбора образцов и общий вид *C. majus* в горных растительных сообществах хребта Кунгей Алатау

После сбора растительное сырьё высушивали при комнатной температуре в условиях естественной вентиляции и в дегидраторе до достижения постоянной массы, затем измельчали до порошкообразного состояния с использованием лабораторной мельницы.

Процесс получения гидроэтанольных экстрактов.

В качестве исследуемого материала использовали высушенное и измельчённое растительное сырьё чистотела. Перед экстракцией образцы доводили до однородного порошкообразного состояния.

Получение гидроэтанольных экстрактов *C. majus* осуществляли методом Сокслета с использованием автоматической системы для быстрой экстракции Gerhardt SOX-412 (Германия), при контролируемых температурно-временных параметрах (рисунок 2).



Рисунок 2. Получение экстрактов *Chelidonium majus* L. методом Сокслета (Gerhardt SOX-412).

Экстракцию осуществляли 70%-м этиловым спиртом при температуре 65°С в течение 6 часов. Полученные гидроэтанольные экстракты *C. majus* подвергали процессу выпаривания на роторном вакуумном испарителе для удаления растворителя и получения концентрированного экстракта [20]. Полученный концентрированный экстракт использовали для оценки антифунгальной активности без дополнительного разведения. Параметры процесса экстракции представлены в таблице 1. Полученные экстракты условно обозначали как *C. majus* №1–3.

Таблица 1. Исследуемые параметры получения экстрактов из надземной части *C. majus*

№ варианта	Температура экстракции, °С	Время экстракции, ч	Соотношение этанола и воды, %	Объем экстракта до выпаривания, мл	Объем концентрированного экстракта после выпаривания, мл	Количество растворителя после выпаривания, мл	Время выпаривания, мин
1	65	6	70	236	60	174	67
2	65	6	70	235	72	161	71
3	65	6	70	230	62	167	69

Как видно из таблицы 1, экстракты №1-3 получали независимо из одной партии растительного сырья *C. majus* с использованием отдельных навесок в одинаковых условиях экстракции. Незначительные различия в объёмах и времени выпаривания между вариантами обусловлены естественной вариабельностью процесса экстракции и не отражают существенных отклонений в эффективности экстракции. Полученные таким образом гидроэтанольные экстракты *C. majus* в дальнейшем использовались для изучения их антифунгальной активности.

Оценка антифунгальной активности.

Для исследования использовали изолят *Fusarium* spp., выделенный из клубней картофеля с характерными симптомами фузариозного поражения. Принадлежность изолята к роду *Fusarium* подтверждали по морфологическим признакам культуры и микроскопическим характеристикам спороношения. Антифунгальную активность гидроэтанольного экстракта *C. majus* оценивали *in vitro* в отношении данного изолята на картофельно-глюкозном агаре. Для инокуляции использовали чистую культуру *Fusarium* spp. Стерильной иглой отбирали фрагмент активно растущего мицелия и переносили его на поверхность картофельно-глюкозного агара.

В качестве положительного контроля использовали протравитель семян «Цитадель» (тиаметоксам 262,5 г/л, дифеноконазол 25 г/л, флудиоксонил 25 г/л), в качестве отрицательного контроля – стерильную дистиллированную воду. Дополнительно оценивали влияние 70% этанола, использованного в качестве экстрагента. Исследуемый экстракт перед использованием фильтровали через стерильный мембранный фильтр с размером пор 0,22 мкм. Для биотестирования использовали концентрат экстракта *C. majus* №1, полученный после выпаривания растворителя, с целью максимального проявления его биологической активности. Стерильные бумажные диски диаметром 6 мм погружали непосредственно в концентрат экстракта, после чего помещали на поверхность питательной среды. Чашки инкубировали при температуре 24-26°C.

Площадь мицелиального роста *Fusarium* spp. определяли на 7-е сутки культивирования по цифровым изображениям чашек Петри с использованием программы ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) [21]. Фотографирование чашек проводили сверху при одинаковых условиях съемки. В пределах рабочей поверхности питательной среды определяли площадь, занятую мицелием. Степень колонизации рассчитывали как отношение площади, занятой мицелием, к общей анализируемой площади питательной среды и выражали в процентах: Колонизация (%) = Sм / Sобщ × 100, где Sм – площадь поверхности, занятой мицелием; Sобщ – общая анализируемая площадь питательной среды. Ингибирование мицелиального роста оценивали относительно контроля растворителя по изменению площади грибной колонии [22] и рассчитывали по формуле: I (%) = [(C - T) / C] × 100, где C – средняя площадь мицелиального роста в контроле растворителя, T – площадь мицелиального роста в опытном варианте.

В настоящей работе антифунгальную активность экстракта оценивали при одной исследуемой дозе, поэтому зависимость «концентрация-эффект» и значение IC_{50} не определяли. Оценка дозозависимого действия экстракта является задачей дальнейших исследований.

Определение химического состава (GC-MS).

Компонентный состав гидроэтанольных экстрактов *C. majus* исследовали методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (GC–MS). Анализ

выполняли на хромато-масс-спектрометрической системе Agilent 7890A GC, сопряжённой с масс-селективным детектором Agilent 5975C.

Сухие экстракты растворяли в метаноле аналитической чистоты до получения однородного раствора и вводили в хроматографическую систему объемом 2,0 мкл в режиме splitless. Разделение компонентов осуществляли на капиллярной колонке DB-35MS (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм) в условиях программируемого температурного режима. В качестве газа-носителя использовали гелий с постоянной скоростью потока 1 мл/мин. Регистрацию масс-спектров проводили в режиме полного сканирования в диапазоне m/z 34–750.

Предварительная идентификация по библиотечному совпадению масс-спектров соединений осуществляли путём сравнения полученных масс-спектров с библиотечными спектрами NIST и Wiley с учётом степени совпадения спектров и времени удерживания анализируемых компонентов. Относительное содержание предварительно идентифицированных веществ определяли по площади соответствующих хроматографических пиков без использования коэффициентов пересчёта. Обработку хроматографических данных выполняли с использованием программного обеспечения Agilent MSD ChemStation.

Статистический анализ.

Результаты представлены как среднее арифметическое ± стандартное отклонение (SD). Для каждого варианта использовали четыре независимые повторности (n = 4). Различия между вариантами оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA) с последующим тестом Тьюки для множественных сравнений. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследований

Антифунгальная активность экстракта C. majus в отношении Fusarium spp.

На первом этапе исследования проводили предварительный скрининг антифунгальной активности гидроэтанольных экстрактов *C. majus* в отношении *Fusarium* spp. Для последующей количественной оценки антифунгальной активности и анализа цифровых изображений был использован экстракт *C. majus* №1. Его действие оценивали на 7-е сутки культивирования по площади мицелиального роста. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние гидроэтанольного экстракта *Chelidonium majus* L. на площадь мицелиального роста *Fusarium* spp.

Название образца	Доля поверхности, занятой мицелием, %
H_2O, отрицательный контроль	$79,00 \pm 1,83^a$
70% этанол, контроль растворителя	$72,50 \pm 2,65^b$
C. majus №1	$60,25 \pm 4,08^c$
Протравитель «Цитадель», положительный контроль	$48,25 \pm 0,25^d$
Примечание: Данные представлены как среднее ± SD, n = 4. Разные надстрочные буквы указывают на статистически значимые различия между вариантами по тесту Тьюки при p < 0,05.	

На 7-е сутки культивирования доля поверхности, занятой мицелием *Fusarium* spp. в отрицательном контроле с H_2O составила 79,00 ± 1,83%, а в контроле растворителя с 70% этанолом – 72,50 ± 2,65%. В присутствии гидроэтанольного экстракта *C. majus* №1 доля поверхности, занятой мицелием снижалась до 60,25 ± 4,08%. Ингибирование доли

поверхности, занятой мицелием относительно контроля растворителя составило 16,9%. Наиболее выраженное подавление роста наблюдалось в положительном контроле с протравителем, где доля поверхности, занятой мицелием составила 48,25 ± 0,25%. Однофакторный дисперсионный анализ выявил статистически значимые различия между вариантами опыта ($F(3,12) = 109,33$; $p < 0,000001$). Последующий тест Тьюки показал статистически значимые различия между всеми исследованными вариантами ($p < 0,05$). Полученные результаты свидетельствуют об ингибирующей активности гидроэтанольного экстракта *C. majus* №1 в отношении мицелиального роста *Fusarium* spp. На рисунке 3 представлены результаты изучения антифунгальной активности экстракта *C. majus* №1 против возбудителя фузариоза на 7-е сутки.

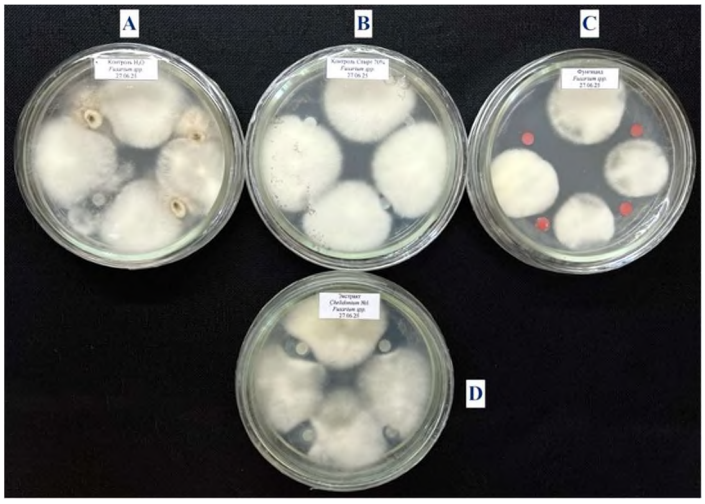


Рисунок 3. Характер роста *Fusarium* spp. в контрольных и опытном вариантах на 7-е сутки: A – H_2O, отрицательный контроль; B – 70% этанол, контроль растворителя; C – протравитель «Цитадель», положительный контроль; D – *C. majus* №1, гидроэтанольный экстракт.

На 7-е сутки наблюдались различия в характере роста *Fusarium* spp. между контрольными и опытным вариантами. Наименьший рост отмечен при использовании протравителя «Цитадель», тогда как применение экстракта *C. majus* №1 также сопровождалось снижением мицелиального роста по сравнению с контрольными вариантами.

GC-MS профиль и идентификация биологически активных соединений.

Проведённый GC-MS анализ экстракта *C. majus* позволил выявить широкий спектр соединений, относящихся к различным классам вторичных метаболитов. Полученный химический профиль согласуется с данными Достемесовой и др. (2023) [23], а также с опубликованными данными о фитохимическом составе *C. majus* [24-26].

Наличие указанных групп веществ ранее было установлено при изучении экстрактов *C. majus* с применением современных хроматографических методов (GC-MS, HPLC), что указывает на значительный потенциал данного растения как источника биологически активных природных соединений.

В результате анализа экстракта *C. majus* методом GC-MS было предположительно идентифицировано 11 соединений с различной степенью совпадения масс-спектров с библиотечными данными (63–92%). Среди предположительно идентифицированных

компонентов экстракта наибольшее относительное содержание имели соединение №10 (30,2%), фитол и этиловые эфиры жирных кислот. Полный перечень выявленных соединений, их времени удерживания и относительного содержания представлен в таблице 3.

Таблица 3. Химический профиль экстракта *C. majus*, установленный методом GC-MS

№	Время удерживания, мин	Соединения	Библиотечное совпадение масс-спектра, %	Процентное содержание, %
1	19,17	Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphenyl)-	64	1,8
2	27,87	Tetradecanoic acid, ethyl ester	66	0,8
3	34,14	Phytol	90	13,8
4	35,38	Ethyl Oleate	88	3,6
5	35,55	9,12-Octadecadienoic acid, ethyl ester	87	22,7
6	35,92	9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)-	92	17,1
7	37,02	Drometrizole	63	1,2
8	38,98	Methyl 19-methyl-eicosanoate	68	1,1
9	55,87	Canadine	76	4,2
10	56,50	4H-Bis[1,3]benzodioxolo[5,6-a:4',5'-g]quinolizine, 6,7,12b,13-tetrahydro-, (±)-	86	30,2
11	58,48	Protopine	68	3,5
Примечание: Идентификация соединений выполнена на основании совпадения масс-спектров с библиотечными данными NIST/Wiley; указанные структуры требуют дополнительного подтверждения с использованием индивидуальных стандартов.				

Для визуальной оценки компонентного состава и разделения соединений гидроэтанольного экстракта *C. majus* была получена хроматограмма методом GC-MS (рисунок 4). Хроматограмма демонстрирует наличие выраженных пиков, соответствующих основным предварительно идентифицированным метаболитам, представленным в таблице 3.

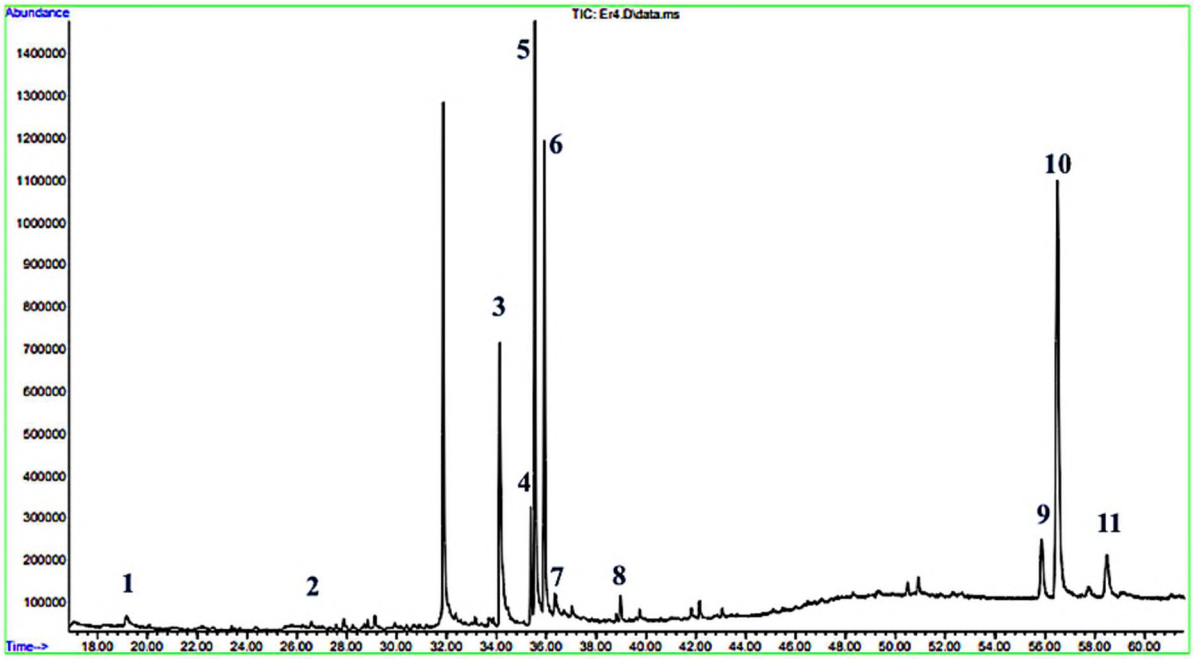


Рисунок 4. Хроматограмма гидроэтанольного экстракта *C. majus*

Среди выявленных компонентов наибольшее относительное содержание имело соединение 4H-Bis[1,3]benzodioxolo[5,6-a:4',5'-g]quinolizine, 6,7,12b,13-tetrahydro-, (±)- (30,2%), предположительно идентифицированное на основании библиотечного поиска масс-спектров. Значительную долю составляли этиловые эфиры ненасыщенных жирных кислот: этиловый эфир линолевой кислоты (22,7%), этиловый эфир α-линоленовой кислоты (17,1%) и этилолеат (3,6%), суммарное содержание которых составило 43,4%. Содержание фитола составило 13,8%. Полученный профиль свидетельствует о преобладании в экстракте липофильных вторичных метаболитов, потенциально способных вносить вклад в его биологическую активность.

Выявленная антифунгальная активность экстракта может быть связана с совокупным действием различных групп вторичных метаболитов. Однако полученные данные не позволяют установить вклад отдельных соединений или подтвердить конкретный механизм их действия.

Обсуждение

Гидроэтанольный экстракт *C. majus* №1 снижал площадь мицелиального роста *Fusarium* spp. относительно контроля растворителя. При использовании экстракта площадь мицелиального роста составила 60,25 ± 4,08%, тогда как в контроле с 70% этанолом – 72,50 ± 2,65%. Ингибирование мицелиального роста относительно контроля растворителя составило 16,9%.

Полученный уровень ингибирования отличался от данных, опубликованных для других экстрактов *C. majus*. Matos et al. исследовали чувствительность десяти штаммов *Fusarium* к экстрактам чистотела и показали, что выраженность антифунгального действия существенно зависела как от используемого растворителя, так и от части растения. Водные экстракты обеспечивали заметное ингибирование роста, тогда как метанольные экстракты в целом проявляли более высокую активность; экстракты корней были активнее экстрактов надземной части растения. Авторы также установили

значительные различия в чувствительности отдельных представителей рода *Fusarium*, от относительно устойчивых *F. culmorum* и *F. graminearum* до более чувствительных форм *F. oxysporum* [27].

Полученное в настоящей работе ингибирование на уровне 16,9% может быть связано с использованием надземной части *C. majus*, особенностями гидроэтанольной экстракции, исследованием только одного изолята *Fusarium* spp., а также применением одной дозы концентрированного экстракта. Это согласуется с данными о том, что антифунгальная активность *C. majus* существенно зависит от способа получения экстракта и чувствительности конкретного гриба. Дополнительным подтверждением антифунгального потенциала растения являются данные Pârvu et al., показавших подавление роста фитопатогенного гриба *Botrytis cinerea* экстрактом надземной части *C. majus* [28].

Вместе с тем прямое сопоставление уровней ингибирования между исследованиями ограничено различиями в составе экстрактов, концентрациях, тестируемых видах и штаммах грибов, питательных средах и методах оценки роста.

При этом действие экстракта было менее выраженным, чем действие положительного контроля с протравителем «Цитадель». Полученные результаты свидетельствуют об ингибирующей активности гидроэтанольного экстракта *C. majus* в отношении мицелиального роста *Fusarium* spp. Установление зависимости «концентрация-эффект», активности в отношении дополнительных изолятов и вклада отдельных компонентов экстракта требует дальнейших исследований. Следует учитывать, что использование этанола и нагревания в процессе экстракции могло повлиять на профиль обнаруженных этиловых эфиров жирных кислот. Поэтому полученные GC-MS данные характеризуют химический профиль полученного экстракта и не позволяют однозначно относить все выявленные соединения к нативным метаболитам *C. majus*. Следует учитывать, что GC-MS характеризует преимущественно летучие и полулетучие компоненты исследуемого экстракта и не отражает его полный химический состав. Для более полной характеристики, включая полярные и термолабильные соединения, необходимы дополнительные аналитические методы, в частности LC-MS или HPLC. Вместе с тем установление вклада отдельных соединений и механизмов их действия требует дальнейших исследований.

Настоящая работа представляет собой первичное *in vitro* исследование. К ограничениям относятся использование одного изолята *Fusarium* spp., исследование одной дозы выбранного экстракта, отсутствие подтверждения отдельных компонентов GC-MS с использованием индивидуальных стандартов и отсутствие *in vivo* испытаний на растениях или клубнях картофеля. Дальнейшие исследования должны включать расширение числа изолятов, изучение зависимости «концентрация-эффект», подтверждение химического состава дополнительными аналитическими методами и проведение испытаний *in vivo*.

Заключение

Гидроэтанольный экстракт *Chelidonium majus* L. из популяции Кунгей Алатау характеризовался комплексным химическим составом, включающим этиловые эфиры ненасыщенных жирных кислот, фитол и предположительно идентифицированные алкалоидные соединения. Экстракт *C. majus* №1 снижал площадь мицелиального роста *Fusarium* spp. до 60,25 ± 4,08% по сравнению с 72,50 ± 2,65% в контроле растворителя. Ингибирование мицелиального роста относительно контроля растворителя составило 16,9%. Полученные результаты свидетельствуют об ингибирующей активности

гидроэтанольного экстракта *C. majus* в отношении мицелиального роста *Fusarium* spp. *in vitro* и указывают на необходимость дальнейшего изучения зависимости «концентрация-эффект», подтверждения роли отдельных компонентов экстракта и проведения испытаний *in vivo*.

Финансирование. Научно-исследовательская работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта AP26101537.

Литература:

1. Zare G., Diker N.Y., Arituluk Z.C., Tatli Cankaya I.I. *Chelidonium majus* L. (Papaveraceae) morphology, anatomy and traditional medicinal uses in Turkey // Istanbul Journal of Pharmacy. – 2021. – Vol. 51. – № 1. – P. 123–132. https://doi.org/1 0.26650/IstanbulJPharm.2020.0074.
2. Samatadze T.E., Yurkevich O.Y., Hazieva F.M., Konyaeva E.A., Morozov A.I., Zoshchuk S.A., Amosova A.V., Muravenko O.V. Agro-Morphological, Microanatomical and Molecular Cytogenetic Characterization of the Medicinal Plant *Chelidonium majus* L. // Plants. – 2020. – Vol. 9. – P. 1396. https://doi.org/10.3390/plants9101396.
3. Romanu R., Liga S., Tripon M.R., Huiban F., Iliescu D., Dehelean C.A., Camelia T. *Chelidonium majus* L.: A Current Perspective on Isoquinoline Alkaloids, Emerging Phytochemicals, Alkaloid Biosynthesis, and Biological Activities // Plants. – 2025. – Vol. 14. – P. 2627. https://doi.org/10.3390/plants14172627.
4. Li X.L., Sun Y.P., Wang M., Wang Z.B., Kuang H.X. Alkaloids in *Chelidonium majus* L.: A review of its phytochemistry, pharmacology and toxicology // Frontiers in Pharmacology. – 2024. – Vol. 15. – P. 1440979. https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1440979.
5. Borges A., Calvo M.L.M., Vaz J.A., Calhelha R.C. Enhancing wound healing: A comprehensive review of sericin and *Chelidonium majus* L. as potential dressings // Materials. – 2024. – Vol. 17. – P. 4199. https://doi.org/10.3390/ma17174199.
6. Мухтубаева С.К., Достемесова А.Б., Избастина К.С., Кобланова С.А., Жумабекова Б.К., Абдукадирова Ж.А. Оценка запасов основных видов лекарственных растений восточной части хребта Кунгей Алатау // Вестник КазНУ. Экология сериясы. – 2025. №3 (84). – С. 133-148. https://doi.org/10.26577/EJE202584313
7. Nawrot R., Lippmann R., Matros A., Musidlak O., Nowicki G., Mock H.P. Proteomic comparison of *Chelidonium majus* L. latex in different phases of plant development // Plant Physiology and Biochemistry. – 2017. – Vol. 112. – P. 312–325. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.010.
8. Nawrot J., Wilk-Jędrusik M., Nawrot S., Nawrot K., Wilk B., Dawid-Pać R., Urbańska M., Micek I., Nowak G., Gornowicz-Porowska J. Milky Sap of Greater Celandine (*Chelidonium majus* L.) and Anti-Viral Properties // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Vol. 17. – № 5. – P. 1540. https://doi.org/10.3390/ijerph17051540.
9. Chen P., Ji X.Y., Feng J.T., Wang X.Q., Zhang B. The Synergistic Mechanism of Chelidonium majus Alkaloids on Melanoma Treatment via a Multi-Strategy Insight // Molecules. – 2024. – Vol. 29. – P. 5412. https://doi.org/10.3390/molecules29225412.
10. Gardin N.E., Braga A.J. Greater celandine (Chelidonium majus L.) for COVID-19: A twenty-case series // Phytotherapy Research. – 2021. – Vol. 35. – № 7. – P. 3792–3798. https://doi.org/10.1002/ptr.7085.
11. Stefanowski N., Tkachenko H., Osmólska U., Kurhaluk N. Dose-dependent alterations in the biomarkers of lipid and protein oxidation in the blood of patients with type 2 diabetes mellitus after in vitro incubation with extracts of *Chelidonium majus* L. // Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality. – 2022. – Vol. 6. – № 2. https://doi.org/10.15414/ainhlq.2022.0020.
12. Nawrot R., Warowicka A., Rudzki P.J., Musidlak O., Dolata K.M., Musijowski J., Stolarczyk E.U., Goździcka-Józefiak A. Combined Protein and Alkaloid Research of *Chelidonium majus* Latex Reveals CmMLP1 Accompanied by Alkaloids with Cytotoxic Potential to Human Cervical Carcinoma Cells // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22. – № 21. – P. 11838. https://doi.org/10.3390/ijms222111838.

13. Pantano F., Mannocchi G., Marinelli E., Gentili S., Graziano S., Busardò F.P., Di Luca N.M. Hepatotoxicity induced by greater celandine *(Chelidonium majus* L.): A review of the literature // European Review for Medical and Pharmacological Sciences. – 2017. – Vol. 21. – № 1. – P. 46–52.
14. Guo W., Lu X., Liu B., Yan H., Feng J. Anti-TMV activity and mode of action of three alkaloids isolated from *Chelidonium majus* // Pest Management Science. – 2021. – Vol. 77. – № 1. – P. 510–517. https://doi.org/10.1002/ps.6049.
15. Rahmonov O., Środek D., Pytel S., Makieieva N., Kupka T. Relationships between Heavy Metal Concentrations in Greater Celandine (*Chelidonium majus* L.) Tissues and Soil in Urban Parks // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2023. – Vol. 20. – P. 3887. https://doi.org/10.3390/ijerph20053887.
16. Qi J., Zhang X., Guo X., Yang Y., Fan X., Han Y., Liu Y. Evaluation of the in vitro and in vivo antimicrobial activity of alkaloids prepared from *Chelidonium majus* L. using MRSA-infected C. elegans as a model host // Fitoterapia. – 2024. – Vol. 175. – P. 105944. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2024.105944.
17. Topor G., Stanescu C., Buzia O.D., Forna D.A., Serban C. Antimicrobial activity of *Chelidonium majus* L. // Romanian Journal of Oral Rehabilitation. – 2024. – Vol. 16. – № 3. – P. 678. https://doi.org/10.6261/RJOR.2024.3.16.68.
18. Buzia O.D., Ion G.M., Earar K., Gurau G., Mardare N. Antimicrobial activity of *Chelidonium majus* L. // Medical Materials. – 2022. – № 2. – P. 31–38. DOI: https://doi.org/10.36868/medmater.2022.02.01.031.
19. Izbastina K.S., Mukhtubayeva S.K., Dostemessova A., Kurmanbayeva M., Sitpayeva G., Ishmuratova M., Inelova Z., Sharipova (Zhumagul) M., Zhumadina S. Current State of *Chelidonium majus* L. (Papaveraceae) Populations in the Eastern Part of the Kungey Alatau Ridge (Southeastern Kazakhstan) // Diversity. – 2026. – Vol. 18. – № 3. – P. 191. https://doi.org/10.3390/d18030191.
20. Sevindik M., et al. Biological activities of ethanol extracts of Hericium erinaceus obtained as a result of optimization analysis // Foods. – 2024. – Vol. 13. – № 10. – P. 1560. https://doi.org/10.3390/foods13101560.
21. Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods. 2012. Vol. 9, No. 7. P. 671-675. https://doi.org/10.1038/nmeth.2089.
22. Onufrak A.J., Gazis R., Gwinn K., Klingeman W., Khodaei S., Perez Oñate L.I., Finnell A., Givens S., Chen C., Holdridge D.R., Hadziabdic D. Potential biological control agents of Geosmithia morbida restrict fungal pathogen growth via mycoparasitism and antibiosis. BioControl. 2024. Vol. 69. P. 661-674. https://doi.org/10.1007/s10526-024-10277-y.
23. Dostemessova A.B., Ametov A.A., Kurmanbayeva M.S., Izbastina K.S. Biomorphological and phytochemical parameters of *Chelidonium majus* L. in the conditions of Kungei-Alatau // Fundamental and Experimental Biology. – 2023. – Vol. 28. – № 3. – P. 57–67. https://doi.org/10.31489/2023BMG3/57-67.
24. Colombo M.L., Bosisio E. Pharmacological activities of *Chelidonium majus* L. (Papaveraceae) // Pharmacological Research. – 1996. – Vol. 33. – № 2. – P. 127–134. https://doi.org/10.1006/phrs.1996.0019.
25. Zielińska S., Jezierska-Domaradzka A., Wójciak-Kosior M., Sowa I., Junka A., Matkowski A.M. Greater Celandine's Ups and Downs – 21 Centuries of Medicinal Uses of *Chelidonium majus* from the Viewpoint of Today's Pharmacology // Frontiers in Pharmacology. – 2018. – Vol. 9. – P. 299. https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00299.
26. Gilca M., Gaman L., Panait E., Stoian I., Atanasiu V. *Chelidonium majus* – an integrative review: Traditional knowledge versus modern findings // Forschende Komplementärmedizin. – 2010. – Vol. 17. – № 5. – P. 241–248. https://doi.org/10.1159/000321397.
27. Matos O.C., Baeta J., Silva M.J., Pinto Ricardo C. Sensitivity of Fusarium strains to Chelidonium majus L. extracts. Journal of Ethnopharmacology. 1999. Vol. 66, No. 2. P. 151-158. https://doi.org/10.1016/S0378-8741(98)00183-4.
28. Pârvu M., Pârvu A.E., Crăciun C., Barbu-Tudoran L., Tămaş M. Antifungal Activities of Chelidonium majus Extract on Botrytis cinerea in vitro and Ultrastructural Changes in its Conidia. Journal of Phytopathology. 2008. Vol. 156. P. 550-552. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2008.01410.x.

References:

1. Zare G., Diker N.Y., Arituluk Z.C., Tatli Cankaya I.I. (2021). *Chelidonium majus* L. (Papaveraceae) morphology, anatomy and traditional medicinal uses in Turkey. Istanbul Journal of Pharmacy, 51(1), 123–132. https://doi.org/10.26650/IstanbulJPharm.2020.0074.
2. Samatadze T.E., Yurkevich O.Y., Hazieva F.M., Konyaeva E.A., Morozov A.I., Zoshchuk S.A., Amosova A.V., Muravenko O.V. (2020). Agro-Morphological, Microanatomical and Molecular

Cytogenetic Characterization of the Medicinal Plant *Chelidonium majus* L. Plants, 9, 1396. https://doi.org/10.3390/plants9101396.
3. Romanu R., Liga S., Tripon M.R., Huiban F., Iliescu D., Dehelean C.A., Camelia T. (2025). *Chelidonium majus* L.: A Current Perspective on Isoquinoline Alkaloids, Emerging Phytochemicals, Alkaloid Biosynthesis, and Biological Activities. Plants, 14, 2627. https://doi.org/10.3390/plants14172627.
4. Li X.L., Sun Y.P., Wang M., Wang Z.B., Kuang H.X. (2024). Alkaloids in *Chelidonium majus* L.: A review of its phytochemistry, pharmacology and toxicology. Frontiers in Pharmacology, 15, 1440979. https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1440979.
5. Borges A., Calvo M.L.M., Vaz J.A., Calhelha R.C. (2024). Enhancing wound healing: A comprehensive review of sericin and *Chelidonium majus* L. as potential dressings. Materials, 17, 4199. https://doi.org/10.3390/ma17174199.
6. Mukhtubayeva S.K., Dostemessova A.B., Izbastina K.S., Koblanova S.A., Zhumabekova B.K., Abdukadirova Zh.A. (2025). Assessment of the stocks of the main medicinal plant species in the eastern part of the Kungey Alatau Ridge. Bulletin of Al-Farabi Kazakh National University. Ecology Series, 3(84), 133–148. https://doi.org/10.26577/EJE202584313 [in Russian].
7. Nawrot R., Lippmann R., Matros A., Musidlak O., Nowicki G., Mock H.P. (2017). Proteomic comparison of *Chelidonium majus* L. latex in different phases of plant development. Plant Physiology and Biochemistry, 112, 312–325. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.010.
8. Nawrot J., Wilk-Jędrusik M., Nawrot S., Nawrot K., Wilk B., Dawid-Pać R., Urbańska M., Micek I., Nowak G., Gornowicz-Porowska J. (2020). Milky Sap of Greater Celandine (*Chelidonium majus* L.) and Anti-Viral Properties. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(5), 1540. https://doi.org/10.3390/ijerph17051540.
9. Chen P., Ji X.Y., Feng J.T., Wang X.Q., Zhang B. (2024). The Synergistic Mechanism of *Chelidonium majus* Alkaloids on Melanoma Treatment via a Multi-Strategy Insight. Molecules, 29, 5412. https://doi.org/10.3390/molecules29225412.
10. Gardin N.E., Braga A.J. (2021). Greater celandine (*Chelidonium majus* L.) for COVID-19: A twenty-case series. Phytotherapy Research, 35(7), 3792–3798. https://doi.org/10.1002/ptr.7085.
11. Stefanowski N., Tkachenko H., Osmólska U., Kurhaluk N. (2022). Dose-dependent alterations in the biomarkers of lipid and protein oxidation in the blood of patients with type 2 diabetes mellitus after in vitro incubation with extracts of *Chelidonium majus* L. Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality, 6(2). https://doi.org/10.15414/ainhlq.2022.0020.
12. Nawrot R., Warowicka A., Rudzki P.J., Musidlak O., Dolata K.M., Musijowski J., Stolarczyk E.U., Goździcka-Józefiak A. (2021). Combined Protein and Alkaloid Research of *Chelidonium majus* Latex Reveals CmMLP1 Accompanied by Alkaloids with Cytotoxic Potential to Human Cervical Carcinoma Cells. International Journal of Molecular Sciences, 22(21), 11838. https://doi.org/10.3390/ijms222111838.
13. Pantano F., Mannocchi G., Marinelli E., Gentili S., Graziano S., Busardò F.P., Di Luca N.M. (2017). Hepatotoxicity induced by greater celandine (*Chelidonium majus* L.): A review of the literature. European Review for Medical and Pharmacological Sciences, 21(1), 46–52.
14. Guo W., Lu X., Liu B., Yan H., Feng J. (2021). Anti-TMV activity and mode of action of three alkaloids isolated from *Chelidonium majus*. Pest Management Science, 77(1), 510–517. https://doi.org/10.1002/ps.6049.
15. Rahmonov O., Środek D., Pytel S., Makieieva N., Kupka T. (2023). Relationships between Heavy Metal Concentrations in Greater Celandine (*Chelidonium majus* L.) Tissues and Soil in Urban Parks. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20, 3887. https://doi.org/10.3390/ijerph20053887.
16. Qi J., Zhang X., Guo X., Yang Y., Fan X., Han Y., Liu Y. (2024). Evaluation of the in vitro and in vivo antimicrobial activity of alkaloids prepared from *Chelidonium majus* L. using MRSA-infected C. elegans as a model host. Fitoterapia, 175, 105944. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2024.105944.
17. Topor G., Stanescu C., Buzia O.D., Forna D.A., Serban C. (2024). Antimicrobial activity of Chelidonium majus L. Romanian Journal of Oral Rehabilitation, 16(3), 678. https://doi.org/10.6261/RJOR.2024.3.16.68.
18. Buzia O.D., Ion G.M., Earar K., Gurau G., Mardare N. (2022). Antimicrobial activity of *Chelidonium majus* L. Medical Materials, 2, 31–38. https://doi.org/10.36868/medmater.2022.02.01.031.
19. Izbastina K.S., Mukhtubayeva S.K., Dostemessova A., Kurmanbayeva M., Sitpayeva G., Ishmuratova M., Inelova Z., Sharipova (Zhumagul) M., Zhumadina S. (2026). Current State of *Chelidonium majus* L. (Papaveraceae) Populations in the Eastern Part of the Kungey Alatau Ridge (Southeastern Kazakhstan). Diversity, 18(3), 191. https://doi.org/10.3390/d18030191.

20. Sevindik M., et al. (2024). Biological activities of ethanol extracts of Hericium erinaceus obtained as a result of optimization analysis. Foods, 13(10), 1560. https://doi.org/10.3390/foods13101560.
21. Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods. 2012. Vol. 9, No. 7. P. 671-675. https://doi.org/10.1038/nmeth.2089.
22. Onufrak A.J., Gazis R., Gwinn K., Klingeman W., Khodaei S., Perez Oñate L.I., Finnell A., Givens S., Chen C., Holdridge D.R., Hadziabdic D. Potential biological control agents of Geosmithia morbida restrict fungal pathogen growth via mycoparasitism and antibiosis. BioControl. 2024. Vol. 69. P. 661-674. https://doi.org/10.1007/s10526-024-10277-y.
23. Dostemessova A.B., Ametov A.A., Kurmanbayeva M.S., Izbastina K.S. (2023). Biomorphological and phytochemical parameters of *Chelidonium majus* L. in the conditions of Kungei-Alatau. Fundamental and Experimental Biology, 28(3), 57–67. https://doi.org/10.31489/2023BMG3/57-67.
24. Colombo M.L., Bosisio E. (1996). Pharmacological activities of *Chelidonium majus* L. (Papaveraceae). Pharmacological Research, 33(2), 127–134. https://doi.org/10.1006/phrs.1996.0019.
25. Zielińska S., Jezierska-Domaradzka A., Wójciak-Kosior M., Sowa I., Junka A., Matkowski A.M. (2018). Greater Celandine's Ups and Downs – 21 Centuries of Medicinal Uses of *Chelidonium majus* from the Viewpoint of Today's Pharmacology. Frontiers in Pharmacology, 9, 299. https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00299.
26. Gilca M., Gaman L., Panait E., Stoian I., Atanasiu V. (2010). *Chelidonium majus* – an integrative review: Traditional knowledge versus modern findings. Forschende Komplementärmedizin, 17(5), 241–248. https://doi.org/10.1159/000321397.
27. Matos O.C., Baeta J., Silva M.J., Pinto Ricardo C. Sensitivity of Fusarium strains to Chelidonium majus L. extracts. Journal of Ethnopharmacology. 1999. Vol. 66, No. 2. P. 151-158. https://doi.org/10.1016/S0378-8741(98)00183-4.
28. Pârvu M., Pârvu A.E., Crăciun C., Barbu-Tudoran L., Tămaş M. Antifungal Activities of Chelidonium majus Extract on Botrytis cinerea in vitro and Ultrastructural Changes in its Conidia. Journal of Phytopathology. 2008. Vol. 156. P. 550-552. https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2008.01410.x.

Information about the authors

S. Izbastina – corresponding author, PhD, associate professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, RSE on the REM "Astana Botanical Garden" Committee of Forestry and Animal World of the Ministry of Ecology and Nature Conservation, Astana, Kazakhstan; e-mail: izbastina.k@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6418-1950;
D.N. Kamarova – corresponding author, doctoral student, master of Agricultural Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan; e-mail: dkamarova10@gmail.com; ORCID: 0009-0007-4036-3825;
A.B. Dostemesova – Doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: anardostemesova@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4526-7115;
M.A. Azhimakhan – PhD, lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan; e-mail: moldir_kazatu@mail.ru; ORCID: 0000-0002-9194-2727;
M.A. Suleiman – Master of Agricultural Sciences, lecturer, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan; e-mail: suleiman_madina@mail.ru; ORCID: 0000-0002-7670-5352;
V.T. Khassanov – Candidate of Biological Sciences, professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Astana, Kazakhstan; e-mail: vadim_kazgatu@mail.ru; ORCID: 0000-0002-9054-5551;
S.K. Mukhtubaeva – Candidate of biological Sciences, associate Professor. RSE on the REM "Astana Botanical Garden" Committee of Forestry and Animal World of the Ministry of Ecology and Nature Conservation, Astana, Kazakhstan; e-mail: mukhtubaeva@mail.ru; ORCID: 0000-0001-5921-3113;
M.Z. Sharipova – PhD, associate professor Astana International University, Astana, Kazakhstan; e-mail: moldirzhumagul@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9467-1483.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-122-135
УДК 575.17: 595.77
МРНТИ 34.33.19

ХРОМОСОМНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ В ПОПУЛЯЦИЯХ *ANOPHELES MESSEAE* В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. АСТАНЫ

Сибатаев А.К.[1*, 2, 3], Вассерлауф И.Э.[3], Сибатаева А.М.[2], Мейрамхан Л.[1], Абылкасымова Г.М.[4]

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан*
[2]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[3]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
[4]Институт генетики и физиологии, Алматы, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: a.sibataev@kazatu.edu

Аннотация

Проведено цитогенетическое исследование природных популяций малярийного комара *Anopheles messeae* Fall., 1926 (Diptera: Culicidae) в двух локальных биотопах окрестностей г. Астаны (пос. Куйгенжар и пос. Интернациональный, Акмолинская область). Из слюнных желёз личинок IV стадии приготовлены препараты политенных хромосом по лактоацетоорсеиновой методике; проанализировано 111 кариотипов. Установлен выраженный инверсионный полиморфизм по хромосомам XL, 3R и 3L при практической мономорфности аутосом 2R. Доминирующий генотип половой хромосомы – XL_{11}; наибольшая изменчивость выявлена по 3L (гетерозиготы $3L_{01}$: 47,4% и 66,6%). Межпопуляционные различия статистически значимы по 3R (χ^2=4,37; p<0,05) и 3L (χ^2=6,21; p<0,05); в популяции Интернациональный обнаружено отклонение от равновесия Харди–Вайнберга (χ^2=6,87; p<0,05). Результаты подтверждают адаптивный характер хромосомного полиморфизма и свидетельствуют о биотопической дифференциации популяций в урбанизированном ландшафте.

Ключевые слова: *Anopheles messeae*, инверсионный полиморфизм, политенные хромосомы, цитогенетика, популяционная генетика, Астана.

ХРОМОСОМАЛЫҚ ӨЗГЕРГІШТІК АСТАНА ҚАЛАСЫНЫҢ МАҢАЙЫНДАҒЫ *ANOPHELES MESSEAE* ПОПУЛЯЦИЯЛАРЫНДА

Сибатаев А.К.[1*, 2, 3], Вассерлауф И.Э.[3], Сибатаева А.М.[2], Мейрамхан Л.[1], Абылкасымова Г.М.[4]

[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан*
[2] Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
[3] Томск мемлекеттік ұлттық зерттеу университеті, Томск, Ресей
[4] Генетика және физиология институты, Алматы, Қазақстан
[*]Хат-хабар үшін автор: a.sibataev@kazatu.edu

Аңдатпа

Астана қаласының маңындағы екі биотопта (Қуйғенжар және Интернациональный, Ақмола облысы) *Anopheles messeae* Fall., 1926 табиғи популяцияларына цитогенетикалық зерттеу жүргізілді. Лактоацетоорсеин әдісімен 111 кариотип талданды. XL, 3R және 3L хромосомаларында айқын инверсиялық полиморфизм, 2R аутосомында мономорфтылық анықталды. XL_{11} генотипі басым; $3L_{01}$ гетерозиготалары – 47,4% және 66,6%. Популяциялар арасындағы айырмашылықтар 3R (χ^2=4,37) және 3L

(χ^2=6,21) бойынша маңызды (p<0,05); Интернационалистер популяциясында Харди–Вайнберг тепе-теңдігінен ауытқу анықталды (χ^2=6,87; p<0,05).

Кілт сөздер: *Anopheles messeae*, инверсиялық полиморфизм, политенді хромосомалар, цитогенетика, популяциялық генетика, Астана.

CHROMOSOMAL VARIABILITY IN POPULATIONS OF *ANOPHELES MESSEAE* IN THE VICINITY OF ASTANA

A.K. Sibataev[1*, 2, 3], I.E. Wasserlauf[3], A.M. Sibataeva[2], L. Meiramkhan[1], G.M. Abylkassymova[4]

[1*]*S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan*
[2]*Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*
[3]*Tomsk State University, Tomsk, Russia*
[4]*Institute of Genetics and Physiology, Almaty, Kazakhstan*
[*]*The author for correspondence: a.sibataev@kazatu.edu*

Abstract

A cytogenetic study of *Anopheles messeae* Fall., 1926 natural populations was conducted in two biotopes of the Astana vicinity (Kuigenjar and International, Akmola Region). Polytene chromosomes were prepared from salivary glands of fourth-instar larvae using the lacto-aceto-orcein squash technique; 111 karyotypes were analysed. Pronounced inversion polymorphism was observed in chromosome arms XL, 3R, and 3L, whereas chromosome arm 2R was nearly monomorphic. The dominant sex-chromosome genotype was XL_{11}; chromosome 3L showed the highest variability ($3L_{01}$ heterozygotes: 47.4% and 66.6%). Interpopulation differences were significant for 3R (χ^2=4.37; p<0.05) and 3L (χ^2=6.21; p<0.05); the International population deviated from Hardy–Weinberg equilibrium (χ^2=6.87; p<0.05). The data confirm the adaptive nature of chromosomal polymorphism and local biotope differentiation within an urbanised landscape.

Keywords: *Anopheles messeae*, inversion polymorphism, polytene chromosomes, cytogenetics, population genetics, Astana.

Введение

Малярийные комары комплекса *Anopheles maculipennis* Meigen (Diptera: Culicidae) являются классическим объектом популяционно-цитогенетических исследований [1]. Наличие в клетках слюнных желёз личинок гигантских политенных хромосом позволяет точно идентифицировать виды-двойники и регистрировать хромосомные инверсии непосредственно в природных выборках.

Комплекс *Maculipennis* включает 22 вида малярийных комаров Палеарктики и Неарктики. Из евразийских представителей комплекса *Anopheles messeae* Fall., 1926 отличается наибольшим ареалом – почти вся бореальная область Палеарктики – и максимальным уровнем парацентрического инверсионного полиморфизма, имеющего доказанное адаптивное значение [1]. Помимо теоретического интереса, изучение данного вида актуально с практической точки зрения: *An. messeae* является потенциальным переносчиком *Plasmodium vivax* в Казахстане, в том числе в Акмолинской области, отнесённой к регионам со средней степенью риска восстановления малярии [2].

В популяциях малярийного комара *An. messeae* выявлен хромосомный полиморфизм и обнаружены 9 типов флуктуирующих парацентрических инверсий, локализованных во всех трех хромосомах, пять инверсий из которых широко распространены по ареалу в гомо- и гетерозиготном состояниях [1, 3, 4, 5]. При этом

показано, что инверсии образуют неслучайные адаптивные ассоциации – два блока хромосомных вариантов взаимодействуют стабильно на протяжении нескольких лет наблюдений [5]. Инверсии XL_1, $3R_1$, $3L_1$ нарастают в долготном направлении (с запада на восток), инверсия $2R_1$ – в широтном (с юга на север). Эволюционно исходными считаются «юго-западные» варианты (XL_0, $2R_0$, $3R_0$, $3L_0$), возникшие в районе Южной Европы; альтернативные инверсионные варианты формировались по мере освоения видом континентальной Евразии [1]. Сорокалетний мониторинг (1974-2014 гг.) зафиксировал направленное смещение инверсионного состава в сторону «юго-западных» вариантов на фоне потепления климата – особенно отчётливо в томской популяции (XL_0: 5% → 55%; $2R_0$: 45% → 97%), а также в Алматы, где в 2014 г. у самцов $f(XL_0) = 64\%$ при полном отсутствии $2R_1$ [6, 7].

В восточной части ареала показано полное доминирование XL_{11} и последовательное замещение $3R_{00}$ на $3R_{11}$ в долготном направлении [8]. Для Центральной Сибири с запада на восток выявлено снижение разнообразия вариантов половой хромосомы при одновременном нарастании полиморфизма по обоим плечам хромосомы 3 [9]. Популяции Юго-Западной Сибирской равнины демонстрируют выраженную ландшафтную приуроченность хромосомного состава: в лесостепной зоне преобладают «южные» инверсии, тогда как в степных казахстанских выборках резко повышены частоты $3R_{11}$ (до 92,9%) и $3L_{11}$ (до 67,9%) [10].

В популяциях комаров *An. messeae*, обитающих на юге Русской равнины, выделили три кариотипические зоны: центральная, характеризующая наибольшим уровнем полиморфизма по всем хромосомам; юго-западная и юго-восточная зоны, отличающиеся высокой частотой XL_0 и отсутствием $2R_1$ [11]. Для долготной трансекты Астраханской области показана устойчивость гетерозиготности при закономерном нарастании частот XL_1, $3R_1$, $3L_1$ с юга на север [12]. В Центральной Европе полиморфизм *An. messeae* ограничен хромосомами XL и 3R, хромосома 2R практически мономорфна, авторы считают, что это связано с преимущественным влиянием локальных факторов отбора на состав половой хромосомы [13]. Межбиотопные различия по XL, 2R и 3R ($p<0,001$) подтверждены для городских популяций центра России [10].

Регион г. Астаны представляет самостоятельный интерес для популяционно-цитогенетических исследований. Резко континентальный климат (годовая амплитуда температур до 80°C, короткий период открытых водоёмов) создаёт экстремальные условия для личиночного развития, диапаузы имаго и может обусловливать специфическую направленность отбора по хромосомным инверсиям. Активная урбанизация столичной агломерации трансформирует гидрологический режим и термический фон водоёмов-биотопов, что, по имеющимся данным, смещает кариотипический состав городских популяций комаров относительно природных [10, 12]. Разнородность биотопов – пойменные водоёмы естественного стока и ирригационные пруды с искусственно стабилизированным уровнем воды – предоставляет возможность оценить роль микросредовых факторов в формировании локальной кариотипической дифференциации в пределах единого ландшафта.

Несмотря на обширную базу данных по цитогенетике *An. messeae* в России и Европе, популяции Казахстана изучены недостаточно. Имеются разрозненные данные по г. Алматы [1, 14, 15] и Северному Казахстану [9], тогда как столичный регион ранее целенаправленно не исследовался.

Цель настоящей работы – провести первый цитогенетический анализ хромосомного полиморфизма *An. messeae* в двух биотопах окрестностей г. Астаны и

сравнить полученные данные с региональными и типичными для всего ареала закономерностями.

Материалы и методы исследования

Район исследования

Исследование проводилось в двух биотопах окрестностей г. Астаны (Акмолинская область). Точка 1 – пос. Куйгенжар (юго-западная периферия агломерации): пойменные водоёмы р. Ишим с тростниково-рогозовой растительностью. Точка 2 – пос. Интернациональный (восточная периферия): ирригационные пруды и каналы с богатым макрофитным покровом. Биотопы различаются по гидрологическому режиму и степени антропогенной трансформации берегов (Рис. 1). Расстояние между двумя популяциями около 8,7 км.

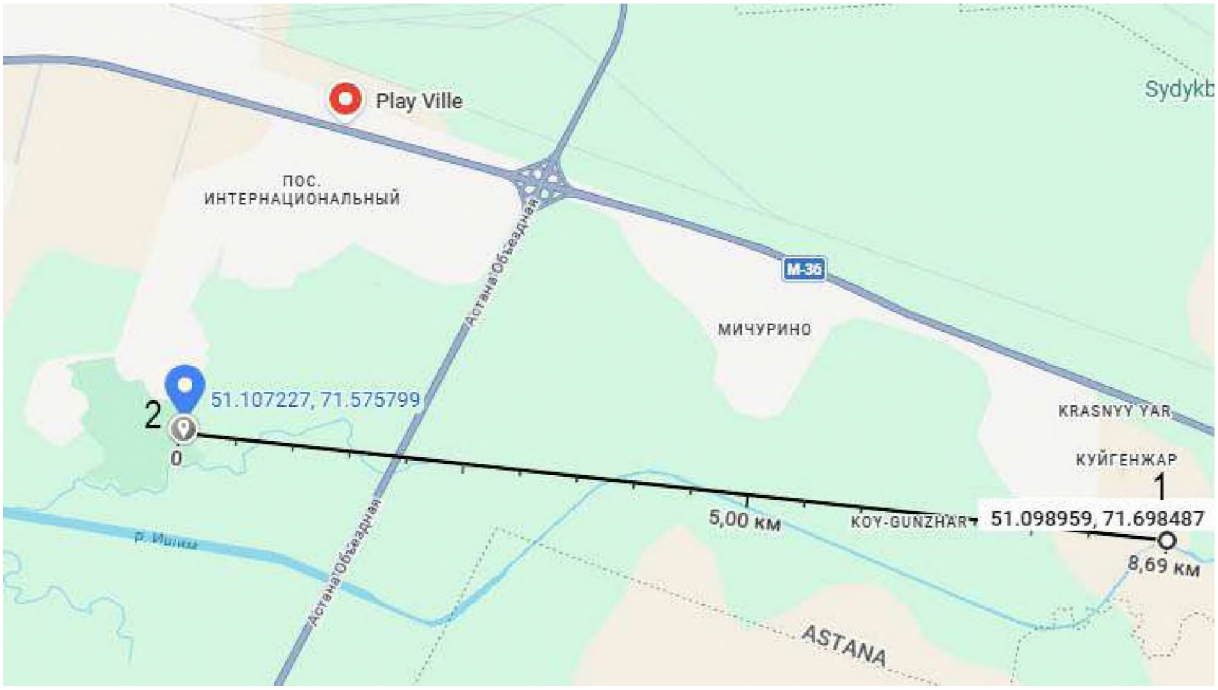


Рисунок 1. Район исследования и точки сбора личинок *Anopheles messeae* в окрестностях г. Астаны. Картографическая основа составлена авторами на основе данных сервиса Google Maps (https://www.google.com/maps/).
1 – пос. Куйгенжар (пойма реки); 2 – пос. Интернациональный (пойма реки)

Сбор материала и цитогенетический анализ

Личинок IV стадии малярийных комаров собирали поверхностным выловом стандартным гидробиологическим сачком (Ø 25 см) в летний период (12-13 июля 2023 г.) Предварительную видовую идентификацию проводили по морфологическим признакам [16, 17] с использованием стереомикроскопов Olympus SZX9 (Япония), Stemi 2000–C («Carl Zeiss», Германия); окончательную – цитогенетически по рисунку дисков политенных хромосом [18].

Препараты готовили из слюнных желёз личинок IV стадии. Личинок фиксировали в фиксаторе Карнуа (смесь этанола и ледяной уксусной кислоты в соотношении 3:1). Слюнные железы окрашивали лактоацетоорсеином (200 мг орсеина, 5 мл ледяной уксусной кислоты и 5 мл 80% молочной кислоты). Затем слюнные железы отмывали

45%-ной уксусной кислотой для удаления избытка красителя и раздавливали под покровным стеклом, слегка постукивая по нему обратной стороной препаровальной иглы для равномерного распределения хромосомного материала. С помощью светового микроскопа AxioImager Z1 («Carl Zeiss», Германия) анализировали политенные хромосомы слюнных желез и регистрировали гомо- и гетерозиготы по парацентрическим инверсиям [1]. Всего проанализировано 111 особей: п.Куйгенжар – 57 (19 ♂/38 ♀), п. Интернациональный – 54 (15 ♂/39 ♀).

Статистический анализ

Частоту генотипа рассчитывали как $f = n/N \times 100\%$; стандартную ошибку доли – по формуле $sf = \sqrt{(f(1-f)/N)}$ [15]. Межпопуляционные различия оценивали критерием χ^2 (df = 2); при малых ожидаемых частотах (менее 5) применяли поправку Йейтса. Соответствие равновесию Харди–Вайнберга (РХВ) проверяли точным тестом χ^2 при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Индекс кариотипического разнообразия рассчитывали по формуле [7, 12]: $I = (100\% - m) / [(N - 1) \times m]$, где m – максимальная частота кариотипа (%), N – число выявленных классов. Индекс гетерозиготности G – среднее число гетерозиготных инверсии на кариотип; $SE(G) = \sqrt{[\Sigma(f_i(1-f_i)/n)]}$. G(♂) рассчитывался по двум аутосомным инверсионным системам 3R и 3L; G(♀) – по трём инверсионным системам XL, 3R и 3L. У самцов хромосома XL находится в гаплоидном состоянии и не учитывалась при расчёте G(♂).

Расчёт кариотипического разнообразия. Кариотипический класс определяли по сочетанию генотипов инверсий на хромосомных плечах XL (только у самок, поскольку у самцов XL находится в гаплоидном состоянии), 3R и 3L. Ожидаемую частоту каждого класса рассчитывали как произведение наблюдаемых частот соответствующих генотипов при допущении независимого распределения инверсий.

Статистическую обработку данных выполняли в программной среде R версии 4.3 с использованием пакетов stats и DescTools.

Результаты исследования

Видовой состав и общая характеристика кариотипа

Во всех исследованных биотопах идентифицирован единственный вид – *Anopheles messeae* Fall., 1926 (2n = 6). Присутствие других видов малярийных комаров в выборках не было выявлено. Суммарные данные по частотам инверсионных генотипов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Частоты инверсионных генотипов в популяциях *An.messeae* окрестностей г. Астаны, (f±sf, %)

Вариант инверсии	Куйгенжар (n=57)	Интернациональный (n=54)	Примечание
Самцы (гоносомы)	**n=19**	**n=15**	
XL_0	5,3±5,1	20,0±10,3	
XL_1	94,7±5,1	80,0±10,3	
Самки (гоносомы)	**n=38**	**n=39**	
XL_{00}	2,6±2,6	15,4±5,8	
XL_{01}	39,5±7,9	20,5±6,4	$\chi^2=3,12$; $p<0,05$*

Вариант инверсии	Куйгенжар (n=57)	Интернациональный (n=54)	Примечание
Самцы (гоносомы)	**n=19**	**n=15**	
XL_{11}	55,3±8,0	58,9±7,9	
XL_{12}	2,6±2,6	2,6±2,6	
XL_{22}	0	2,6±2,6	
Хромосома 2R (оба пола)			
$2R_{00}$	100,0	98,2±1,8	
$2R_{01}$	0	1,8±1,8	
$2R_{11}$	0	0	
Хромосома 3R (оба пола)			
$3R_{00}$	43,8±6,8	35,2±6,5	
$3R_{01}$	38,6±6,5	31,5±6,3	
$3R_{11}$	17,6±5,0	33,3±6,4	χ^2=4,37; p<0,05*
Хромосома 3L (оба пола)			
$3L_{00}$	29,8±6,0	11,1±4,4	χ^2=6,21; p<0,05*
$3L_{01}$	47,4±6,6	66,6±6,4	
$3L_{11}$	22,8±7,1	22,3±7,0	
Отклонение от РХВ (χ^2)	**нет (p>0,05)**	**6,87 (p<0,05)***	Только в Интернациональном

*Примечание: f – частота генотипа; sf – стандартная ошибка доли; РХВ – равновесие Харди–Вайнберга; * p<0,05 по критерию χ^2.*

Хромосома XL. У самцов в обеих выборках доминирует вариант XL_1: 94,7±5,1% в Куйгенжаре и 80,0±10,3% в Интернациональном (рис. 2). У самок преобладает генотип XL_{11} (55,3% и 58,9% соответственно), что характерно для популяций восточной и центральной части ареала [1, 8, 16] (рис. 2). Выявлено значимое снижение доли гетерозигот XL_{01} в Интернациональном по сравнению с Куйгенжаром (20,5±6,4% против 39,5±7,9%; χ^2=3,12; p<0,05). В обеих выборках зафиксирован редкий аллель XL_2 (2,6% у самок), описанный ранее для сибирских популяций [1, 3, 9, 14].

Хромосома 2R. Хромосома 2R практически мономорфна: f($2R_{00}$) = 100% в Куйгенжаре и 98,2±1,8% в Интернациональном; гомозиготы $2R_{11}$ не обнаружены (рис. 2). Консервативность по 2R-плечу закономерна для южных широт ареала: инверсия $2R_1$ характеризует «северный» кариотипический тип и достигает высоких значений лишь в таёжных и субарктических популяциях [1, 14]. Полученные данные сопоставимы с опубликованными для степного региона пос. Аксу Павлодарской обл. [10] и Центральной Европы [13].

Хромосома 3R. По хромосоме 3R выявлен умеренный полиморфизм (рис. 2). Частота генотипа $3R_{11}$ значимо выше в Интернациональном (33,3±6,4%), чем в Куйгенжаре (17,6±5,0%; χ^2=4,37; p<0,05). Астанинские популяции занимают

промежуточное положение между лесостепными и степными казахстанскими популяциями (пос. Аксу: 92,9% [10]), что соответствует переходному ландшафту региона.

Хромосома 3L. Хромосома 3L – наиболее изменчивая из аутосом (рис. 2). Гетерозиготы $3L_{01}$ в «Интернациональном» (66,6%) встречаются заметно чаще, чем в Куйгенжаре (47,4%), что и создаёт значимое межпопуляционное различие. Частота гомозигот $3L_{00}$ значимо ниже в Интернациональном (11,1±4,4% против 29,8±6,0%; χ^2=6,21; p<0,05). Доля $3L_{11}$ сопоставима (~22%) в обеих выборках (табл.1).

Кариотипическое разнообразие. Кариотипические классы, определяемые как трёхинверсионные сочетания XL × 3R × 3L, в обеих популяциях характеризуются высоким разнообразием (рис. 3). Число теоретически возможных классов в астанинских популяциях: 45 у самок (XL_{00}, XL_{01}, XL_{11}, XL_{12}, XL_{22} × 3 генотипа 3R × 3 генотипа 3L) и 9 у самцов (3R × 3L). В Куйгенжаре доминирует класс XL_{01}+$3R_{01}$+$3L_{01}$ (~11,4%), в Интернациональном – XL_{11}+$3R_{11}$+$3L_{01}$ (~13,0%). Хромосома 2R практически мономорфна в выборках, поэтому не учитывается. Индекс кариотипического разнообразия I составил 0,08 и 0,07 соответственно, что сопоставимо со значениями I = 0,08–0,12 для центральносибирских популяций [7].

Сравнительный статистический анализ. Суммарный межпопуляционный критерий χ^2=8,12 (p<0,05) подтверждает достоверность различий между выборками. В Куйгенжаре распределение генотипов соответствует равновесию Харди–Вайнберга (p>0,05). В популяции Интернациональном зафиксировано значимое отклонение (χ^2=6,87; p<0,05) с избытком гетерозигот $3L_{01}$, что может свидетельствовать о балансирующем отборе в пользу гетерозигот $3L_{01}$, эффекте Валунда при смешении личиночных субгрупп или субпопуляционной структуре ирригационного биотопа.

Проведенный нами анализ распределения инверсионных форм в популяции «Интернациональный» обнаружил статистически значимое несоответствие наблюдаемых частот теоретически ожидаемым. Избыточная доля гетерозигот по инверсии $3L_{01}$ (χ^2=6,87; p<0,05) допускает несколько объяснений: поддержание полиморфизма стабилизирующим отбором, структурированность выборки вследствие объединения личинок из экологически дифференцированных микробиотопов (эффект Валунда), либо особенности пространственной организации субпопуляций в условиях ирригационного ландшафта.

Сравнение выборок Куйгенжар и Интернациональный по индексу G выявило устойчивое превышение показателей у самок относительно самцов в обоих пунктах сбора (табл. 2; рис. 4). Полученные величины укладываются в диапазон значений, зарегистрированных ранее для популяций *An. messeae* из центральных районов ареала вида [9, 19]. Межпопуляционные различия по G статистически незначимы (p>0,05), что вероятно отражает сопоставимый суммарный уровень гетерозиготности при различной хромосомной локализации полиморфизма; однако природа этого сходства – балансирующий отбор, демографические процессы или их сочетание – требует дополнительной проверки.

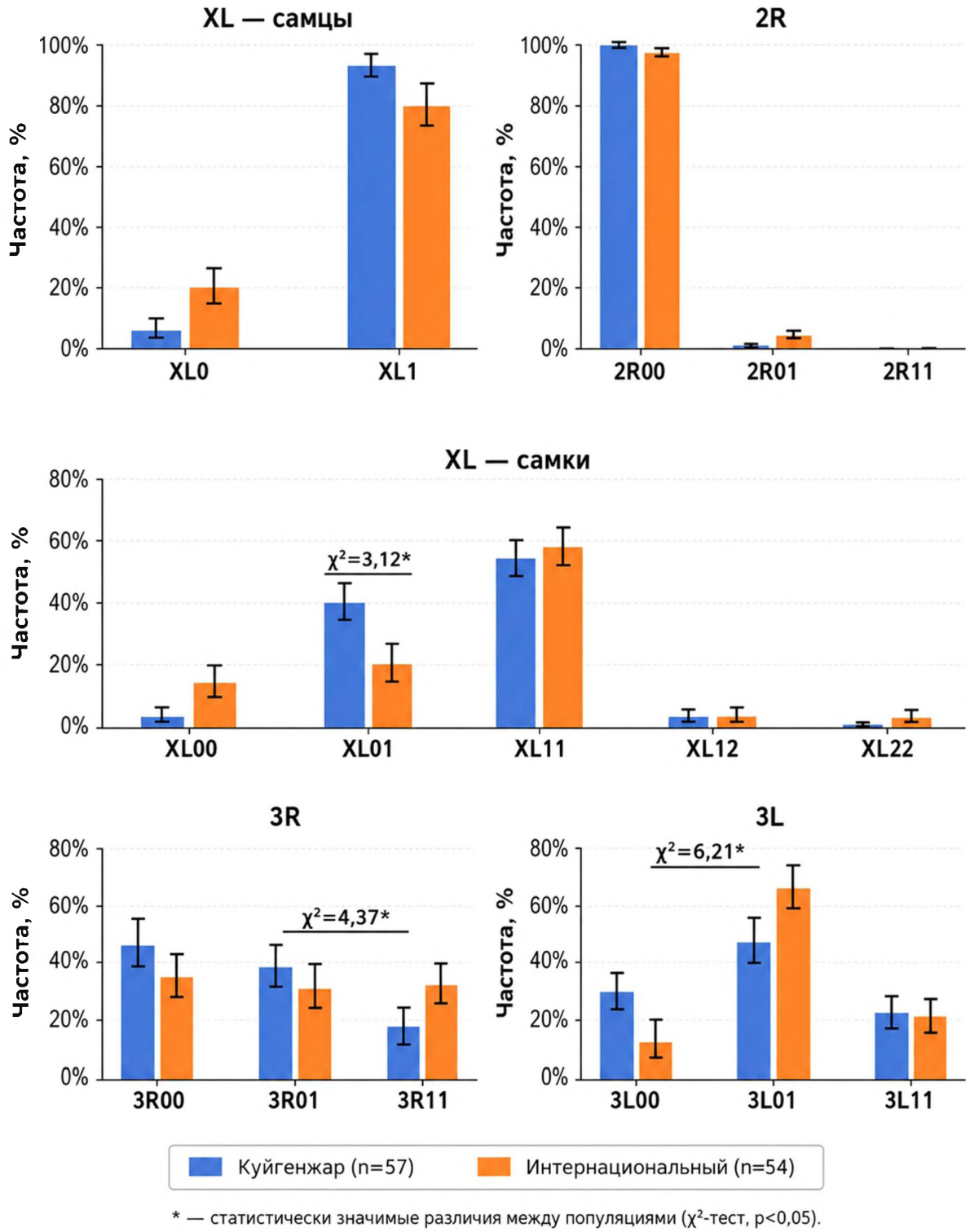


Рисунок 2. Частоты инверсионных вариантов XL самок и самцов, 2R, 3R и 3L *An. messeae* в двух популяциях окрестностей г. Астаны (f±sf, %).

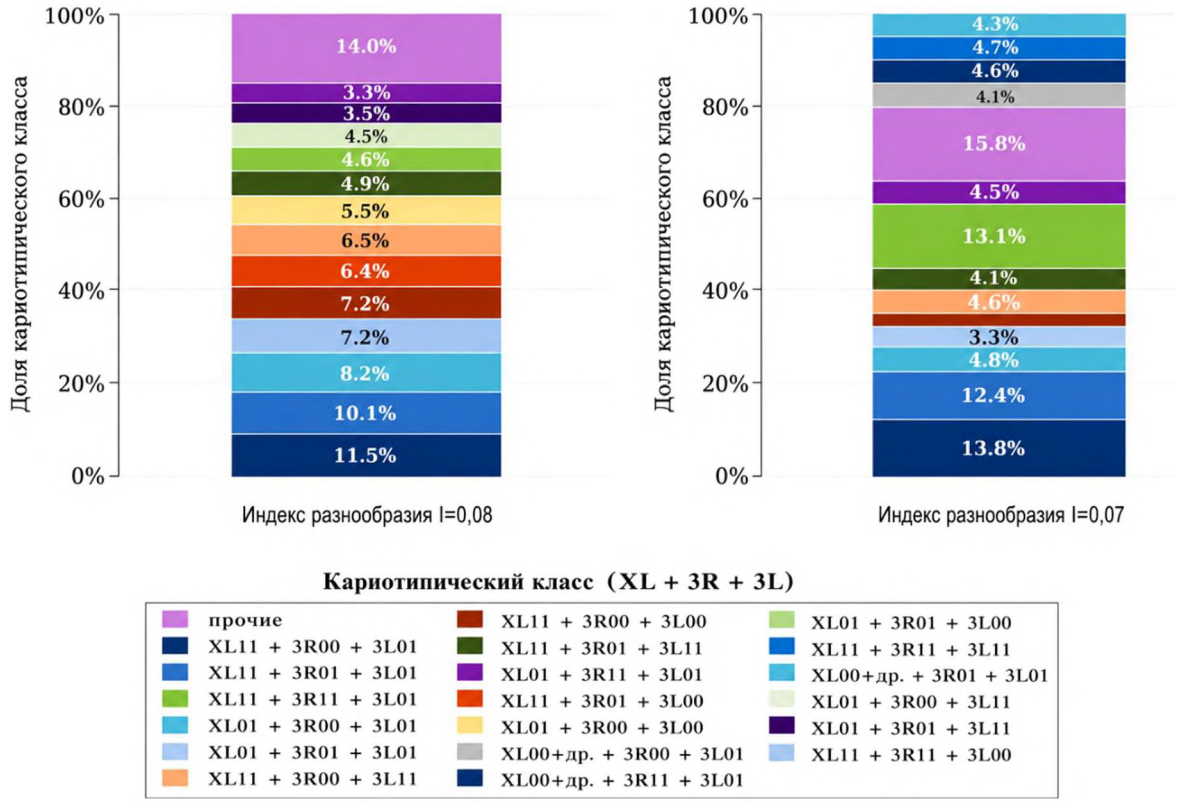


Рисунок 3. Кариотипическое разнообразие популяций *An. messeae* в окрестностях г. Астаны. Слева – Куйгенжар, справа – «Интернациональный». Диаграммы с накоплением – частоты кариотипических классов XL × 3R × 3L. Внутри сегментов – доля класса (если ≥3%). Под столбцами – индекс разнообразия I.

Таблица 2. Значения индекса гетерозиготности G для исследованных популяций

Популяция	G (♂)	G (♀)	Сочетания хромосомных инверсий	n
Куйгенжар	0,86±0,09	1,26±0,11	♂: 3R+3L; ♀: XL+3R+3L	57/38
Интернациональный	0,98±0,09	1,19±0,11	♂: 3R+3L; ♀: XL+3R+3L	54/39
Примечание: G – среднее число гетерозиготных инверсий на кариотип; SE – стандартная ошибка; ♂: 2 инверсионные системы (3R + 3L); ♀: 3 инверсионные системы (XL+3R+3L).				

Обсуждение

Полученные результаты вписываются в схему клинального распределения инверсионных частот по ареалу *An. messeae* [1, 10, 19] и характеризуют астанинские популяции как принадлежащие к «центральному» кариотипическому типу с умеренным полиморфизмом по аутосомам и доминированием XL_1. В популяциях центральной зоны, где имеется весь набор инверсий, теоретически можно обнаружить 162 комбинации вариантов половой хромосомы и аутосом в кариотипах самок (6 х 3 х 3 х 3) и 81 комбинацию в кариотипах самцов, гемизиготных по хромосоме XL (3 х 3 х 3 х 3), однако реальное кариотипическое разнообразие встречается 135 (5 х 3 х 3 х 3) хромосомных

сочетаний, так как гетерозигота XL_{02} встречается крайне редко [5]. Число теоретически возможных классов в астанинских популяциях 45 у самок и 9 у самцов.

Доминирование XL_{11} (55–59% у самок) соответствует данным по восточной части ареала (100% XL_{11} [2]) и сибирским популяциям (~49% [9]), что свидетельствует о принадлежности астанинских выборок к кариотипически «центрально-восточному» полюсу. Присутствие редкого аллеля XL_2 (2,6%) согласуется с данными для томской популяции (6,3% у ♂, 11,4% у ♀ [9]), подчёркивая цитогенетическое сходство Северного Казахстана с Западной Сибирью.

Консервативность 2R ($f(2R_1) \approx 0$) полностью ожидаема для данных широт в контексте 40-летнего тренда снижения частоты $2R_1$ в популяциях умеренного пояса на фоне потепления климата [6, 7]. В степном Казахстане «южный» тип 2R стационарно наблюдается с 1990-х годов [1, 14], и наши данные подтверждают его долговременную устойчивость.

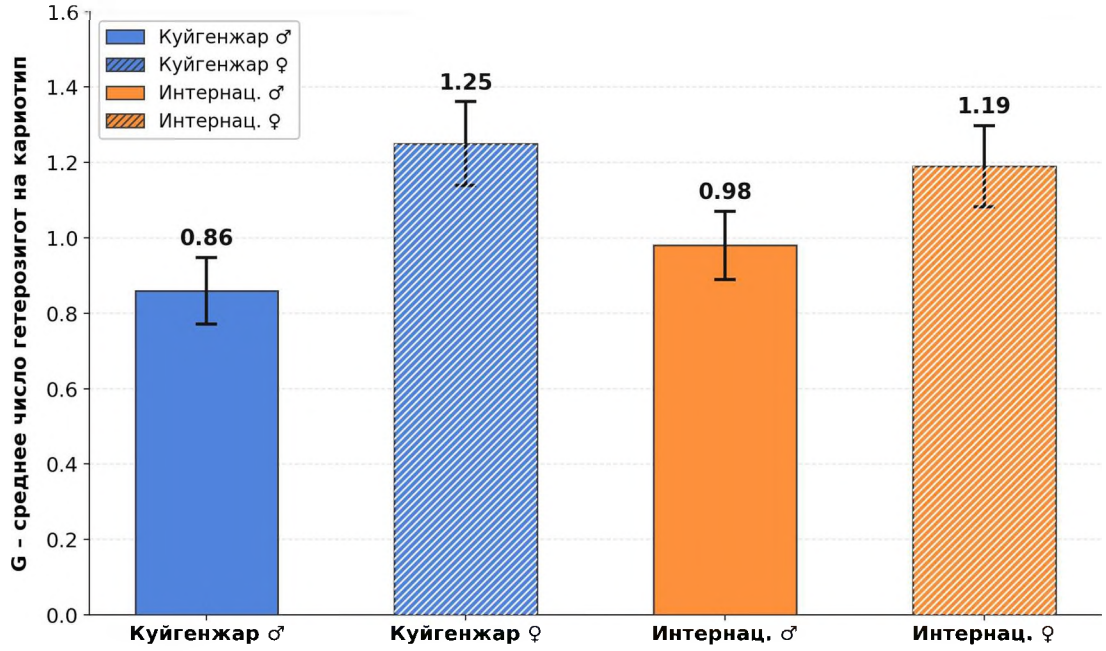


Рисунок 4. Индекс гетерозиготности G для самцов (♂) и самок (♀) *An. messeae* в двух популяциях окрестностей г. Астаны. Планки – ±SE. Заштрихованные столбцы – самки.

Наиболее информативны межпопуляционные различия по хромосомам 3R и 3L. Более высокая $f(3R_{11})$ в Интернациональном (33,3%) отражает биотопические особенности ирригационных прудов с постоянным уровнем воды и богатой макрофитной растительностью, создающих условия, аналогичные лесостепным водоёмам, с которыми ассоциированы повышенные частоты $3R_{11}$ [19]. Значимый избыток гетерозигот $3L_{01}$ и снижение $3L_{00}$ в Интернациональном согласуются с концепцией биотопической дифференцировки личинок с разными кариотипами [1]: гетерозиготы могут иметь адаптивное преимущество (overdominance) в продуктивных стабильных водоёмах. Устойчивость доминирующих кариотипических сочетаний в обеих выборках дополнительно подтверждает представления об адаптивной ассоциации инверсий как интегральной единицы отбора [5]: кариотипы $XL_1{\cdot}3R_1{\cdot}3L_1$ и $XL_0{\cdot}3R_0{\cdot}3L_0$ сохраняют координированность вне зависимости от конкретного биотопа.

Отклонение от равновесия Харди–Вайнберга в популяции Интернациональный (χ^2=6,87; p<0,05) вероятно связано с действием нескольких неисключающих механизмов: балансирующим отбором в пользу гетерозигот $3L_{01}$ и/или эффектом Валунда при смешении личиночных группировок из нескольких участков ирригационной сети. Аналогичный эффект описан Гордеевым с соавт. [10] для популяций в пойме р. Кубань.

Таким образом, хромосомный состав астанинских популяций *An. messeae* отражает их географическое положение на границе лесостепной и степной зон Евразии: невысокая степень аутосомной инверсионной изменчивости, полное отсутствие варианта $2R_1$ и преобладание XL_1 в совокупности формируют кариотипический облик, типичный для переходных территорий. Межпопуляционные различия между Куйгенжаром и Интернациональным выявлены преимущественно в хромосомах 3R и 3L и, по всей видимости, обусловлены спецификой гидрологических и микроклиматических условий в обследованных водоёмах, определяющих особенности развития преимагинальных стадий. Тем самым локальные характеристики личиночных биотопов выступают значимым фактором кариотипической дифференциации на внутривидовом уровне. При интерпретации результатов необходимо учитывать, что выборки были получены в течение двух смежных дней – 12-13.07.2023 года, что делает невозможным оценку временно́й изменчивости инверсионных частот внутри сезона и между годами. Построение полноценной картины динамики хромосомного полиморфизма потребует планомерных наблюдений в течение ряда последовательных вегетационных периодов.

Заключение

1. В двух исследованных биотопах идентифицирован единственный вид малярийных комаров – Anopheles messeae; другие виды комплекса *Maculipennis* не обнаружены.

2. Обе популяции характеризуются выраженным инверсионным полиморфизмом по плечам хромосом XL, 3R и 3L при практически мономорфном состоянии плеча 2R. Среди инверсионных генотипов половой хромосомы доминировал вариант XL_{11}. Кроме того, выявлен редкий аллель XL_2, ранее отмеченный преимущественно в сибирских популяциях данного вида.

3. Наибольшая изменчивость выявлена по хромосоме 3L; доминирование гетерозигот $3L_{01}$ (47,4% и 66,6%) может свидетельствовать о балансирующем отборе или субпопуляционной структуре биотопа.

4. Межпопуляционные различия по 3R (χ^2=4,37; p<0,05) и 3L (χ^2=6,21; p<0,05) отражают локальную биотопическую дифференциацию двух выборок в урбанизированном ландшафте.

5. Отклонение от РХВ в Интернациональном (χ^2=6,87; p<0,05) вероятно связано с избытком гетерозигот $3L_{01}$, что указывает на балансирующий отбор и/или субпопуляционную структуру ирригационного биотопа.

6. Работа представляет первые цитогенетические данные по *An. messeae* для окрестностей г. Астаны и создаёт основу для мониторинга генетической структуры переносчиков трансмиссивных заболеваний в столичном регионе.

Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP32716429). Языковой стиль и читаемость текста были частично улучшены с использованием ИИ-инструмента Claude (Anthropic). Все идеи, выводы и научное содержание принадлежат авторам.

Литература:

1. Стегний В.Н. Популяционная генетика и эволюция малярийных комаров. - Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1991. – 136 с.
2. Бисмильдин Ф.Б., Шапиева Ж.Ж., Анпилова Е.Н. Современная ситуация по малярии в республике Казахстан // Мед. паразитология и паразитарные болезни. - 2001. – № 1. – С. 24-32.
3. Гордеев М.И. Адаптивные стратегии в популяциях малярийных комаров: дис. доктор биологических наук: 03.00.15 - Генетика. – Томск, 1997. – 304 с.
4. Новиков Ю.М. Взаимодействие инверсий в популяциях малярийного комара Anopheles messeae Fall., дифференциация его кариофонда и механизмы поддержания популяционно-генетического гомеостаза // В кн.: Новые данные по кариосистематике двукрылых насекомых / Труды Зоол. ин-та АН СССР. - Л., 1980, – Т.95. – С. 40-49.
5. Новиков Ю.М., Кабанова В.М. Адаптивная ассоциация инверсий в природной популяции малярийного комара Anopheles messeae Fall. // Генетика. – 1979. – Т. 15, № 6. – С. 1033–1045.
6. Стегний В.Н., Пищелко А.О., Сибатаев А.К., Абылкасымова Г. Пространственно-временные изменения частот хромосомных инверсий по ареалу малярийного комара Anopheles messeae Fall. (Culicidae) за 40-летний период мониторинга // Генетика. 2016. – Т.52. – №6. – С. 664–671. https://doi.org/10.7868/S0016675816060138
7. Сибатаев А.К., Вассерлауф И.Е., Усов К.Е., Алексеева С.С., Абылкасымова Г.М., Стегний В.Н. Долговременная и сезонная динамика инверсионного полиморфизма малярийного комара *Anopheles messeae* fall. (Diptera: Culicidae) в популяции центральной части видового ареала (Западная сибирь, Томская область) Генетика. – 2023. – Т. 59, №2. – С. 176-183. https://doi.org/10.31857/S0016675823020121
8. Русакова А.М., Артемов Г.Н., Стегний В.Н. Инверсионный полиморфизм природных популяций малярийного комара (Anopheles messeae Fall.) Восточной части ареала // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. - 2011. - № 2 (14). - С. 117–121.
9. Перевозкин В.П., Хальзова В.В. Видовая и популяционно–генетическая структура малярийных комаров Центральной Сибири // Вестник Томского государственного педагогического университета. - 2013. – № 8 (136). – С. 75-80.
10. Москаев А.В., Гордеев М.И. Хромосомный состав малярийных комаров Шумихинского государственного природного зоологического заповедника (Курганская область) // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. – 2015. – № 5. – С. 26-33.
11. Гордеев М.И., Бежонова О.В., Москаев А.В. Хромосомный полиморфизм в популяциях малярийного комара Anopheles messeae (Diptera, Culicidae) на юге Русской равнины // Генетика. – 2012. – Т. 48, № 9. –С. 1124–1128.
12. Перевозкин В.П., Бондарчук С.С., Минич А.С. Цитогенетический анализ видового состава и инверсионной структуры популяций малярийных комаров в Астраханской области // Генетика. – 2015. – Т. 51, № 8. – С. 924–932. https://doi.org/10.7868/S0016675815060132
13. Перевозкин В.П., Минич А.С., Багаутдинова Г.Т. Популяционная и видовая структура малярийных комаров в Центральной Европе // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2013. – № 8 (136). – С. 70–74.
14. Гордеев М.И., Сибатаев А.К. Цитогенетическая и фенотипическая изменчивость в центральных и периферийных популяциях малярийного комара Anopheles messeae Fall. (Diptera, Culicidae) // Генетика. – 1996. – Т. 32, № 9. – С. 1199–1205.
15. Abylkassymova G.M., Wasserlauf I.E., Sibataev A.K., Stegniy V.N., Andreeva Yu.V., Sibataeva A.M., Pervilyeva A.V. Comparative analysis of the variability of the genetic structure of *Anopheles messeae* (Diptera, Culicidae) populations from Western Siberia and Eastern Kazakhstan. 2019. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* – 400. 012013. DOI:10.1088/1755-1315/400/1/012013
16. Сибатаев А.К., Шабанова Ю.В. Морфология малярийных комаров комплекса Anopheles maculipennis // Научно-практическое руководство по малярии (эпидемиология, систематика, генетика) / под ред. В.Н. Стегния. – 2007. – С. 146–185.
17. Гуцевич А.В., Мончадский А.С., Штакельберг А.А. Комары. Семейство Culicidae // Фауна СССР. Двукрылые насекомые. – Ленинград: Наука, 1970. –Т. 3, вып. 4. – 384 с.
18. Кабанова В.М., Карташова Н.Н., Стегний В.Н. Кариологические исследования природных популяций малярийного комара в Среднем Приобъе. I. Характеристика кариотипа *Anopheles maculipennis messeae* // Цитология. – 1972. – Т. 14, № 5. – С. 630–636.

19. Сибатаев А.К., Вассерлауф И.Е., Усов К.Е., Алексеева С.С., Абылкасымова Г.М., Стегний В.Н. Географическая изменчивость инверсионного полиморфизма малярийного комара *Anopheles messeae* fall. (Diptera: Culicidae) в Томской области // Генетика. – 2022. – Т. 58, № 6. – С. 678–684. https://doi.org/10.31857/S0016675822060091

References:

1. Stegniy V.N. Populyacionnaya genetika i evolyuciya malyarijnyh komarov. - Tomsk: Izd-vo Tomskogo gos. un-ta, 1991. – 136 s.
2. Bismil'din F.B., SHapieva ZH.ZH., Anpilova E.N. Sovremennaya situaciya po malyarii v respublike Kazahstan // Med. parazitologiya i parazitarnye bolezni. - 2001. – № 1. – S. 24-32.
3. Gordeev M.I. Adaptivnye strategii v populyaciyah malyarijnyh komarov: dis. doktor biologicheskih nauk: 03.00.15 - Genetika. Tomsk. – 1997. – 304 s.
4. Novikov Yu.M. Vzaimodejstvie inversij v populyaciyah malyarijnogo komara Anopheles messeae Fall., differenciaciya ego kariofonda i mekhanizmy podderzhaniya populyacionno-geneticheskogo gomeostaza // V kn.: Novye dannye po kariosistematike dvukrylyh nasekomyh / Trudy Zool. in-ta AN SSSR. - L., 1980, – T.95. – s. 40-49.
5. Novikov Yu.M., Kabanova V.M. Adaptive association of inversions in a natural population of the malaria mosquito Anopheles messeae Fall. // Genetika. – 1979. – Vol. 15, No. 6. – P. 1033–1045.
6. Stegniy V.N., Pishchelko A.O., Sibataev A.K., Abylkassymova G. Spatiotemporal changes in the frequencies of chromosomal inversions across the range of the malaria mosquito *Anopheles messeae* Fall. (Culicidae) during a 40-year monitoring period // Russian journal of Genetics. – 2016. – Vol. 52, No. 6. – P. 664–671. https://doi.org/10.7868/S0016675816060138
7. Sibataev A.K., Wasserlauf I.E., Usov K.E., Alekseeva S.S., Abylkassymova G.M., Stegniy V.N. Long-term and seasonal dynamics of inversion polymorphism in the malaria mosquito *Anopheles messeae* Fall. (Diptera: Culicidae) from the population of the central part of the species range (Western Siberia, Tomsk oblast) // Russian journal of Genetics. – 2023. – Vol. 59, No. 2. – P. 176–183. https://doi.org/10.1134/s1022795423020126
8. Rusakova A.M., Artemov G.N., Stegniy V.N. Inversion polymorphism of natural populations of the malaria mosquito *Anopheles messeae* Fall. in the eastern part of the range // Bulletin of Tomsk State University. Biology. – 2011. – No. 2 (14). – P. 117–121.
9. Perevozkin V.P., Khalzova V.V. Species and population genetic structure of malaria mosquitoes in Central Siberia // *Bulletin of Tomsk State Pedagogical University*. – 2013. – No. 8 (136). – P. 75–80.
10. Moskaev A.V., Gordeev M.I. Chromosomal composition of malaria mosquitoes of the Shumikhinsky State Natural Zoological Reserve (Kurgan region) // Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences. – 2015. – No. 5. – P. 26–33.
11. Gordeev M.I., Bezhonova O.V., Moskaev A.V. Chromosomal polymorphism in populations of the malaria mosquito *Anopheles messeae* (Diptera, Culicidae) in the south of the Russian Plain // Russian journal of Genetics. – 2012. – Vol. 48, No. 9. – P. 1124–1128.
12. Perevozkin V.P., Bondarchuk S.S., Minich A.S. Cytogenetic analysis of species composition and inversion structure of malaria mosquito populations in Astrakhan region // Russian journal of Genetics. – 2015. – Vol. 51, No. 8. – P. 924–932. https://doi.org/10.7868/S0016675815060132
13. Perevozkin V.P., Minich A.S., Bagautdinova G.T. Population and species structure of malaria mosquitoes in Central Europe // Bulletin of Tomsk State Pedagogical University. – 2013. – No. 8 (136). – P. 70–74.
14. Gordeev M.I., Sibataev A.K. Cytogenetic and phenotypic variability in central and peripheral populations of the malaria mosquito *Anopheles messeae* Fall. (Diptera, Culicidae) // *Genetics*. – 1996. – Vol. 32, No. 9. – P. 1199–1205.
15. Abylkassymova G.M., Wasserlauf I.E., Sibataev A.K., Stegniy V.N., Andreeva Yu.V., Sibataeva A.M., Pervilyeva A.V. Comparative analysis of the variability of the genetic structure of *Anopheles messeae* (Diptera, Culicidae) populations from Western Siberia and Eastern Kazakhstan. 2019. *IOP* Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 400. 012013. https://doi.org/10.1088/1755-1315/400/1/012013
16. Sibataev A.K., Shabanova Yu.V. Morfologiya malyarijnyh komarov kompleksa Anopheles maculipennis // Nauchno-prakticheskoe rukovodstvo po malyarii (epidemiologiya, sistematika, genetika) / pod red. V.N. Stegniya. – 2007. – S. 146–185.
17. Gucevich A.V., Monchadskij A.S., Shtakel'berg A.A. Komary. Semejstvo Culicidae // Fauna SSSR. Dvukrylye nasekomye. – Leningrad: Nauka, 1970. – T. 3, vyp. 4. – 384 s.

18. Kabanova V.M., Kartashova N.N., Stegniy V.N. Karyological study of natural populations of the malaria mosquito in the Middle Ob region. Communication I. Characteristics of the karyotype of *Anopheles maculipennis messeae* // Cytology. – 1972. – Vol. 14, No. 5. – P. 630–636.

19. Sibataev A.K., Wasserlauf I.E., Usov K.E., Alekseeva S.S., Abylkassymova G.M., Stegniy V.N. Geographic variability of inversion polymorphism of the malaria mosquito *Anopheles messeae* Fall. (Diptera: Culicidae) in Tomsk oblast // Russian journal of Genetics. – 2022. – Vol. 58, No. 6. – P. 678–684. https://doi.org/10.31857/S0016675822060091

Information about the authors

A.K. Sibataev – corresponding author, Doctor of Biological Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan; Professor Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: a.sibataev@kazatu.edu; ORCID: 0000-0002-3434-6590;
I.E. Wasserlauf – Doctor of Biological Sciences, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation; e-mail: irinawasserlauf@mail.ru; ORCID: 0000-0002-9202-6173;
A.M. Sibataeva – Research Associate, Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: a9528868508@gmail.com; ORCID: 0009-0000-7406-1234;
G.M. Abylkassymova – Senior Researcher, Institute of Genetics and Physiology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Gulyam05@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0804-7172;
L. Meiramkhan – Doctoral student at Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: lena.meiramkhanwork@gmail.com; ORCID: 0009-0009-1212-942X.

ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / PEDAGOGICAL SCIENCES

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-136-147
ӘОЖ 796.034.2
ҒТАМА 77.03.03

СПОРТТЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР МЕН СТАТИСТИКАЛЫҚ ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ ДЕНЕ ДАЙЫНДЫҚ САПАСЫН БАҒАЛАУ ЖҮЙЕСІ

Айсина Н.Б.[1*], Сабанбаев Н.И.[2], Шитов А.А.[1], Семененко С.П.[1]
[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[2]«Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан
[*]Хат-хабар үшін автор: nbajsina@ku.edu.kz

Андатпа

Бұл мақалада 15 жастағы орта мектеп оқушыларының дене даярлығын бағалау және жетілдірудің ғылыми-әдістемелік негіздері қарастырылады. Зерттеу барысында дене даярлығы көрсеткіштерін анықтауға арналған педагогикалық бақылау құралдары қолданылып, алынған нәтижелер статистикалық өңдеуден өткізілді.

Зерттеу деректері сипаттамалық статистика әдістері арқылы өңделіп, орташа арифметикалық мәндер мен стандарттық ауытқулар анықталды. Статистикалық талдау тест нәтижелерінің сенімділігі мен валидтілігін бағалауға, сондай-ақ оқушылардың дене дайындық деңгейін объективті түрде сипаттауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері 15 жастағы оқушылардың қозғалыс қабілеттерінің даму деңгейінде бастапқы және қорытынды тестілеу нәтижелері арасында оң өзгерістердің бар екенін көрсетті. Оқу кезеңінің басында және соңында педагогикалық тесттерді қолдану арқылы оқушылардың дене дайындығы сапасының артқаны статистикалық түрде расталды, бұл дене шынықтыру сабақтарын ұйымдастыруда ғылыми негізделген және жас ерекшеліктеріне бейімделген тәсілді көрсетеді.

Кілт сөздер: дене дайындығы, физикалық белсендік, педагогикалық тестілеу, орта мектеп оқушылары, жасөспірім. статистикалық талдау, валидтілік, сенімділік.

СИСТЕМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ СПОРТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Айсина Н.Б.[1*], Сабанбаев Н.И.[2], Шитов А.А.[1], Семененко С.П.[1]
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[2]НАО «Карагандинский национальный исследовательский университет имени академика Е.А. Букетова», Караганда, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: nbajsina@ku.edu.kz

Аннотация

В данной статье рассматриваются научно-методические основы оценки и совершенствования уровня физической подготовленности учащихся средней школы в возрасте 15 лет. В ходе исследования использовались педагогические средства контроля, направленные на определение показателей физической подготовленности, а полученные результаты были подвергнуты статистической обработке.

Данные исследования обрабатывались с использованием методов описательной статистики, были определены средние арифметические значения и стандартные отклонения. Статистический анализ позволил оценить надежность и валидность результатов тестирования, а также объективно охарактеризовать уровень физической подготовленности учащихся.
Результаты исследования показали наличие положительной динамики в развитии двигательных способностей учащихся 15-летнего возраста между результатами предварительного и итогового тестирования. Проведение педагогических тестов в начале и в конце учебного периода статистически подтвердило повышение уровня физической подготовленности учащихся, что свидетельствует об эффективности научно обоснованного и возрастно-адаптированного подхода к организации занятий по физической культуре.

Ключевые слова: физическая подготовленность, физическая активность, педагогические тестирование, учащиеся общеобразовательной школы, подросток, статистический анализ, надежность, валидность.

SYSTEM FOR ASSESSING THE LEVEL OF PHYSICAL FITNESS BASED ON SPORTS RESEARCH AND STATISTICAL ANALYSIS

N.B. Aisina[1*], N.I. Sabanbaev[2], A.A. Shitov[1], S.P. Semenenko[1]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[2]NLC "Karaganda National Research University named after academician Ye.A. Buketov", Karaganda, Kazakhstan
[*]Corresponding author: nbajsina@ku.edu.kz

Abstract
This article examines the scientific and methodological foundations for assessing and improving the level of physical fitness of 15-year-old secondary school students. During the study, pedagogical assessment tools aimed at determining physical fitness indicators were applied, and the obtained results were subjected to statistical analysis.
The research data were processed using descriptive statistical methods, and mean values and standard deviations were determined. The statistical analysis allowed for the assessment of the reliability and validity of the test indicators, as well as an objective characterization of the students' level of physical fitness.
The results of the study demonstrated a positive dynamic in the development of motor abilities among 15-year-old students, according to initial and final testing data. The use of pedagogical tests at the beginning and end of the academic period statistically confirmed an improvement in the quality of physical fitness, indicating a scientifically grounded and age-appropriate approach to organizing physical education lessons.

Keywords: physical fitness, physical activity, pedagogical testing, secondary school students, adolescents, statistical analysis, reliability, validity.

Кіріспе

Жасөспірімдік кезең – адам дамуының ең қарқынды кезеңдерінің бірі. Бұл уақытта физикалық белсенділік ағзаның дамуына, дене мүшелері мен жүйке жүйелерінің қызметін жақсартуға үлкен әсер етеді. Алайда қазіргі деректерге сәйкес, әлемдегі 11-17 жас аралығындағы балалардың басым бөлігі дене белсенділігінің ұсынылған деңгейіне жетпейді. Оқушылардың оқу жүктемесінің жоғары болуы оларды спортпен айналысу уақытын азайтады. Нәтижесінде көптеген елдерде жасөспірімдердің дене дайындығы деңгейінің төмендеуі байқалады. Бұл жағдай семіздік, жүрек-қан тамыр және қант диабеті сияқты аурулардың қаупін арттырады. Зерттеулер тұрақты дене жаттығуларының денсаулықты жақсартып, психологиялық жағдайды нығайтатынын және аурулардың алдын алуға ықпал ететінін көрсетеді. Сонымен қатар спортпен шұғылдану оқушылардың дене даярлығын дамытуда маңызды рөл атқарады. Дегенмен,

қазіргі зерттеулерде жасөспірімдердің дене дайындығын жетілдірудің ең тиімді әдістері жөнінде ортақ пікір қалыптаспаған. Сондықтан бұл мәселені шешу үшін үлкен көлемдегі деректерге сүйенген кешенді статистикалық талдау жүргізу маңызды [1].

Спортпен шұғылдану жасөспірімдердің психикалық денсаулығына оң әсер етеді және олардың әлеуметтік-психологиялық дамуына ықпал жасайды. Зерттеушілер спорттың қарым-қатынас жасау, жауапкершілік және эмоцияларды реттеу дағдыларын дамытуға көмектесетінін атап көрсетеді. Сонымен қатар, жасөспірім кезеңде көптеген жастардың спорттан кетуі байқалады, бұл көбіне өз мүмкіндіктеріне сенімсіздік пен спортқа деген қызығушылықтың төмендеуімен байланыстырылады [13].

Дене белсенділігінің денсаулық пен білім беру саласындағы маңызды артықшылықтарына, сондай-ақ ұзақ уақыт аз қимыл-қозғалыспен өмір сүрудің зиянына қарамастан, әлем бойынша жасөспірімдердің тек оныншы бөлігі ғана физикалық белсенділікке қойылатын ұсынылған талаптарды орындайды. Сонымен қатар, оқу күнінің шамамен төрттен үш бөлігі аз қимыл-қозғалыспен өтеді. Дене белсенділігі жасөспірімдердің оқу жетістіктерімен тығыз байланысты: ол үлгерімнің жақсаруына, зейіннің артуына және атқарушы функциялардың дамуына оң әсер етеді. Зерттеулерге сәйкес жасөспірімдердің тек 10%-ы ғана күніне ұсынылатын 60 минуттық орташа немесе жоғары қарқындылықтағы физикалық белсенділік нормасын орындайды [2]. Халықаралық зерттеулерде балалар мен жасөспірімдердің физикалық белсенділік деңгейі көптеген елдерде ұсынылған нормадан төмен екені көрсетілген [14].

Мектептер жасөспірімдердің физикалық белсенділігін арттыруға және қозғалыссыз өткізетін уақытын азайтуға бағытталған спорттық іс-шаралар мен дене дайындығын бағалау жұмыстарын жүргізуде маңызды орта болып табылады. Дене тәрбиесі мен спорттың барлық құрал түрлерін дұрыс пайдалану арқылы ғана оңтайлы қозғалыс белсенділігіне жетуге болады. Сондықтан бүкіл мектеп деңгейінде қозғалыс мүмкіндіктерін арттыруға бағытталған кешенді тәсілдер ұсынылады. Оларға дене шынықтыру сабақтары, үзілістер, сабақ арасында және сабақтан тыс белсенді әрекеттер жатады. Сонымен қатар, физикалық белсенділік сабақтары спортшы жасөспірімдердің дене дайындық сапасын және психологиялық көрсеткіштерін жақсартуға оң әсер етеді [2, 3].

Дене шынықтыру сабағы оқушылардың жан-жақты дене дайындығын қалыптастыруға бағытталған. Дене дайындығы барысында оқушылардың негізгі физикалық қасиеттері - күш, жылдамдық, төзімділік, икемділік және тепе-теңдік дамытылады. Дене жаттығуларын оқытудың тиімді әдістемесі педагогикалық бақылаумен ұштасқанда ғана оң нәтиже береді. Сондықтан жүктеменің оңтайлы деңгейін анықтау, оның біртіндеп артуын негіздеу, сондай-ақ оқу барысында және жылдық бақылау қорытындылары бойынша тиімді бақылау әдістерін қолдану маңызды [4].

Осы мақалада қазіргі мектеп қабырғасындағы жас спортшылардың даярлық деңгейін бағалау мәселесінің зерттеу негіздемесі қарастырылады. Бүгінгі таңда спортшылардың дайындық деңгейін нақты әрі жүйелі бағалау қажеттілігі ерекше маңызға ие. Әсіресе жас спортшылардың жетістіктерін арттыру үшін олардың дене дайындығын, техникалық және тактикалық мүмкіндіктерін кешенді түрде бағалайтын ғылыми негізделген бақылау жүйесі қажет. Мұндай педагогикалық бақылау құралдары мұғалімдер мен оқушыларға дене дайындығының нақты деңгейін анықтауға мүмкіндік береді, сонымен қатар жетілдіруді қажет ететін тұстарды айқындауға көмектеседі.

Спортшыларды іріктеудің дұрыстығын бағалау үшін педагогикалық зерттеулердің салыстырмалы сипатын ескеру қажет. Зерттеу барысында эксперименттік тобының нәтижелері бақылау тобымен немесе алдынғы кезеңдегі көрсеткіштермен салыстырылады. Бұл жаңа педагогикалық тәсілдердің тиімділігін анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, алынған нәтижелерді ғылыми нормативтік көрсеткіштермен салыстыру спортшылардың даярлық деңгейін объективті бағалауға жағдай жасайды [5].

Ғылыми зерттеулерде оқушылардың қозғалыс белсенділігі ағзаның функционалдық жағдайымен өзара байланысты екені анықталған. Зерттеушілердің пікірінше, оңтайлы дене белсенділігі организм жүйелерінің тиімді жұмыс істеуіне және физикалық жұмысқа қабілеттіліктің жоғарылауына ықпал етеді. Ал қозғалыс белсенділігінің төмен деңгейі функционалдық дайындық көрсеткіштерінің нашарлауына әсер етуі мүмкін [17].

Осы тұрғыда жасөспірім спортшылардың физикалық белсенділігін бағалау қазіргі білім беру жүйесі мен денсаулық сақтау саласындағы өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Осыған байланысты жүргізілген шолу барысында жасөспірім спортшылардың физикалық белсенділігін бағалауға арналған бақылау және өлшеу әдістері валидтілігі, сенімділігі және тиімділігі тұрғысынан салыстырмалы түрде қарастырылды. Аталған мақсатқа жету үшін қолжетімді бағалау құралдары жүйелі түрде талданып, олардың сенімділігі мен валидтілігі, сондай-ақ осы жас тобы үшін практикалық қолдану мүмкіндігі бағаланды. Зерттеу нәтижелері жасөспірімдердің жас ерекшеліктерін ескере отырып, неғұрлым нақты және ғылыми негізделген өлшеу әдістерін қолданудың маңыздылығын көрсетті және болашақ зерттеулерде осы бағытты жетілдіруге мүмкіндік береді.

Біздің зерттеулер көрсеткендей, жас спортшылардың жетістіктері көбіне олардың кешенді дене дайындығына, сондай-ақ оқу-жаттығу процесінде қолданатын ғылыми негізделген әдістерге байланысты. Сондықтан жас спортшылардың дене дайындығын жүйелі түрде бағалау үшін педагогикалық бақылау әдістерін қолдану маңызды болып отыр.

Зерттеудің мақсаты – жас спортшылардың дене даярлығы деңгейін бағалау және оны дамытуға бағытталған жаттығулар жүйесінің тиімділігін анықтау. Жас спортшылардың дене, техникалық және тактикалық даярлығы спорттық нәтижеге әсер ететін өзара байланысты көрсеткіштер болып табылады. Ғылыми зерттеулерде физикалық көрсеткіштердің техникалық-тактикалық әрекеттермен тығыз байланысы бар екені және олардың жас ерекшеліктеріне қарай өзгеретіні көрсетілген [15-16].

Зерттеудің міндеттері:

1. Жас спортшылардың дене дайындық көрсеткіштерін зерттеу және оларды жүйелі түрде тіркеу.
2. Дене даярлығы деңгейін бағалауға арналған педагогикалық бақылау құралдарын таңдау және бейімдеу.
3. Жас спортшылардың дене даярлығын дамытуға бағытталған жаттығулар жүйесінің тиімділігін анықтау.
4. Алынған нәтижелерді статистикалық өңдеу арқылы сенімді және валидті қорытындылар жасау.

Зерттеу әдістері

Зерттеу барысында жас спортшылардың дене дайындығы, техникалық және тактикалық дайындық деңгейін бағалау үшін кешенді әдістер қолданылды.

Педагогикалық бақылау әдістері:

1. 60 метрге жүгіру – жылдамдық қасиетін арттырады.
2. 1000 метрге жүгіру – төзімділік қасиетін дамытады.
3. 3х10 метрге жүгіру – үйлестіру қабілетін дамытады.
4. Орнында тұрып ұзындыққа секіру - жылдамдық және күш сапасын жақсартады.
5. Теннис добын (150 гр.) лақтыру –ептілік пен күшті дұрыс пайдалана білуге бағытталады.
6. Кермеден тартылу – күш көрсеткіштерін арттырады.

Статистикалық өңдеу әдістері:

1. Алынған нәтижелерге сипаттамалық статистика (орташа мән, стандартты ауытқу, пайыздық көрсеткіштер) арқылы өңделді.
2. Айырмашылықтардың сенімділігін тексеру үшін Student t-критерийі қолданылды, бұл бастапқы және қорытынды бағалау көрсеткіштері арасындағы өзгерістер статистикалық тұрғыдан маңызды екенін анықтауға мүмкіндік туғызды.
3. Нәтижелерді графиктер, суреттер мен кестелер арқылы визуалды көрсету болды.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Зерттеу арнайы бағдарлама негізінде оқу жылы бойы жүйелі түрде жүргізілді. Осы кезеңде оқушылардың физикалық белсенділігі тұрақты бақыланып, сынақ нәтижелері жинақталды және алынған деректер кезең бойынша статистикалық өңдеуден өткізілді. Талдау нәтижелері физикалық белсенділікті бағалау құралдарының әртүрлі жағдайларда сенімділігі бірдей бола бермейтінін көрсетті. Осыған байланысты өлшеу құралдарын жетілдіру және оларды жасөспірімдердің жас ерекшеліктеріне бейімдеу қажеттілігі айқындалды.

Осы ерекшеліктерді ескере отырып, зерттеу нысаны ретінде жас футболшылар алынды. Жасөспірім футболшылардың физикалық дамуы мен дене даярлығы олардың биологиялық жетілу деңгейімен тығыз байланысты. Зерттеулерде ерте жетілген футболшылардың антропометриялық және физикалық көрсеткіштері жоғары болатыны анықталған. S. Yang және H. Chen (2022) жүргізген зерттеуде 13–15 жастағы футболшылардың физикалық сипаттамалары биологиялық жетілу деңгейіне тәуелді екені көрсетілген [7]. Ғылыми зерттеулерде футболшыларды іріктеу барысында салыстырмалы жас әсерінің маңызды рөл атқаратыны айтылған. Зерттеушілер биологиялық тұрғыдан ертерек жетілген және физикалық дамуы жоғары спортшылардың спорттық іріктеу барысында жиі артықшылыққа ие болатынын атап көрсетеді. Сонымен қатар, футбол техникалық, тактикалық және физикалық дайындықты қатар талап ететін күрделі спорт түрі ретінде сипатталады [11, 12].

Осы ғылыми тұжырымды негізге ала отырып, зерттеу Солтүстік Қазақстан облысындағы «Сафуан Шаймерденов атындағы қалалық классикалық гимназия» КММ базасында жүргізілді. Зерттеуге футболмен айналысатын 15 жастағы 10 ұл жасөспірім қатысты. Қатысушылардың дене даярлығы оқу кезеңінің басында және соңында бағаланды.

Дене даярлығы көрсеткіштерін анықтау үшін стандартты бақылау сынақтары қолданылды. Атап айтқанда, жылдамдықты, төзімділікті, күшті және үйлестіру қабілеттерін анықтауға бағытталған 60 метрге жүгіру, 1000 метрге жүгіру, 3×10 метрге қайталап жүгіру, орнынан ұзындыққа секіру, 150 граммдық теннис добын лақтыру және кермеде тартылу сынақтары пайдаланылды. Негізгі бақылау сынақтары Қазақстан Республикасы Туризм және спорт министрінің м.а. 2025 жылғы 12 маусымдағы №89 бұйрығына сәйкес, 2025 жылғы 16 маусымнан бастап қолданысқа енгізілген 2-саты

«Спорт ізбасарлары» (14-15 жас) бойынша Қазақстан Республикасы халқының дене шынықтыру даярлығына арналған президенттік тестілер қағидалары негізінде жүргізілді [6]. Оқу кезеңінің басында және соңында алынған нәтижелер 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Зерттеу жұмысының барысында алынған жас спортшылардың дене дайындық көрсеткіші.

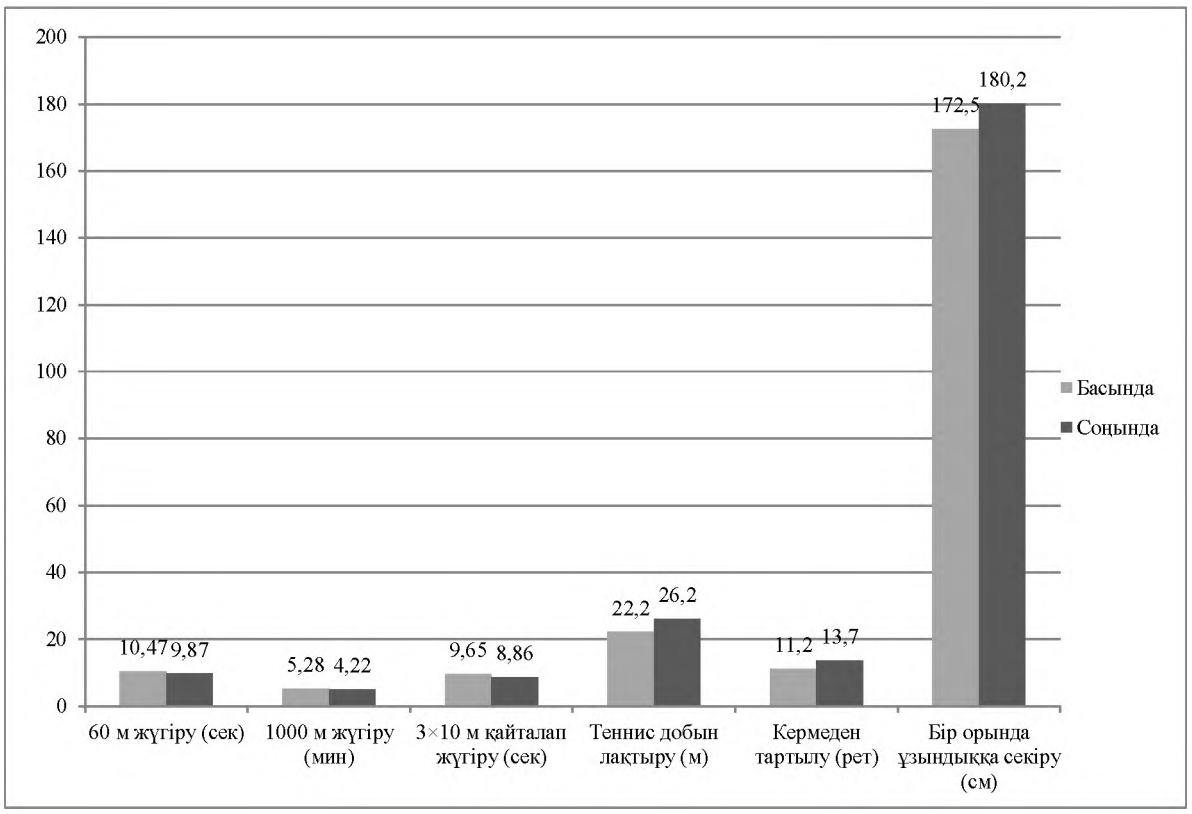
№	АЖТ	60 м жүгіру (секунд)		1000 м жүгіру (минут)		3х10 м қайталап жүгіру (секунд)		Теннис добын лақтыру (метр)		Тартылу (рет)		Ұзындыққа секіру (см)	
		Б.	С.	Б.	С.	Б.	С.	Б.	С.	Б.	С.	Б.	С.
1	А.А.	10.9	10.4	5.35	4.25	8.9	8.0	25	28	12	15	170	180
2	К.А.	10.6	9.9	5.20	4.09	10.0	9.4	20	24	13	14	175	185
3	К.Д.	10.3	9.6	5.25	4.27	9.9	9.2	24	27	14	15	168	175
4	Қ.Р.	9.9	9.3	5.16	4.20	9.9	9.4	20	23	11	13	172	179
5	М.М	10.9	10.4	5.18	4.13	9.5	8.7	22	26	12	14	177	185
6	Р.Н.	10.6	9.9	5.29	4.22	9.4	8.9	25	29	12	16	169	175
7	Р.Ш.	10.2	9.2	5.27	4.19	9.3	8.7	24	26	10	10	163	169
8	С.Т.	10.0	9.9	5.35	4.25	9.5	8.6	20	23	9	15	174	182
9	С.А.	10.5	9.8	5.35	4.24	10.0	8.9	22	30	10	13	180	187
10	Т.М.	10.8	10.3	5.38	4.31	10.1	8.8	20	26	9	12	177	185
Қорытынды **(M)**		10.47	9.87	5.28	4.22	9.65	8.86	22.2	26.2	11.2	13.7	172.5	180.2
m		0.12	0.13	0.02	0.02	0.13	0.14	0.68	0.76	0.54	0.57	1.61	1.82

Түсініктеме: Б. - оқу кезеңінің басындағы көрсеткіш, С. - оқу кезеңінің соңындағы көрсеткіш.

1 кестеде зерттеу жұмысы барысында алынған нәтижелер көрсетілген. Зерттеу нәтижелері жылдамдық, төзімділік, үйлестіру, күш жәнеептілік қасиеттерін дамытуға бағытталған жаттығулардың жас спортшылардың дене дайындығына оң әсер еткенін көрсетті. Атап айтқанда, 60 метрге жүгіру нәтижесі орташа есеппен 10.47 ± 0.12 секундтан 9.87 ± 0.13 секундқа дейін жақсарды, ал төзімділік деңгейін сипаттайтын 1000 метрге жүгіру көрсеткіші 5.28 ± 0.02 минуттан 4.22 ± 0.02 минутқа дейін төмендеді. Бұл спортшылардың төзімділік қасиетінің артқанын көрсетеді.

Үйлестіру қабілетін дамытуға бағытталған жаттығулардың әсерінен 3х10 метрге қайталап жүгіру нәтижесі 9.65 ± 0.13 секундтан 8.86 ± 0.14 секундқа дейін жақсарды. Сонымен қатар, күш пенептілік сапаларын дамытуға арналған жаттығулардың нәтижесінде теннис добын қашықтыққа лақтыру көрсеткіші 22.2 ± 0.68 метрден 26.2 ± 0.76 метрге дейін артты. Кермеден тартылу нәтижесі 11.2 ± 0.54 реттен 13.7 ± 0.57 ретке дейін өсті. Сондай-ақ орнынан ұзындыққа секіру көрсеткіші 172.5 ± 1.61 сантиметрден 180.2 ± 1.82 сантиметрге дейін жоғарылады.

Осылайша, зерттеу барысында қолданылған жаттығулар кешені жас спортшылардың негізгі дене қасиеттерінің дамуына оң ықпал етіп, барлық зерттелген көрсеткіштердің жақсаруын қамтамасыз етті, бұл ұсынылған жаттығулар бағдарламасының тиімділігін және оның дене дайындығын жетілдірудегі маңыздылығын дәлелдейді (1 сурет).

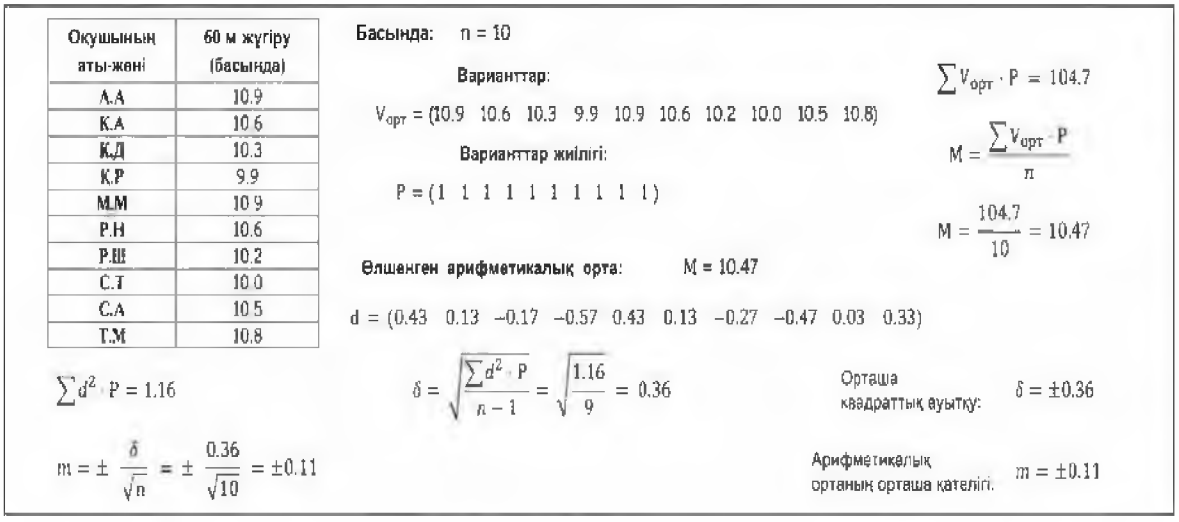


Сурет 1. Жас спортшылардың дене дайындығы көрсеткіштерінің оқу кезеңінің басы мен соңындағы орташа мәндерінің салыстырмасы.

Жеке диаграммалар арқылы берілген нәтижелер басында және соңында бақылау кезеңдерінде жас спортшылардың дене дайындық көрсеткіштерінің сенімді түрде жақсарғанын көрсетеді. Жүгіру сынақтары бойынша уақыт көрсеткіштердің төмендеуі жылдамдықпен төзімділіктің артқанын, ал күш пен жылдамдық – күш сапаларының сипаттайтын көрсеткіштерінің жоғарлауы жас спортшылардың жалпы дене дайындық сапасының жақсарғанын дәлелдейді.

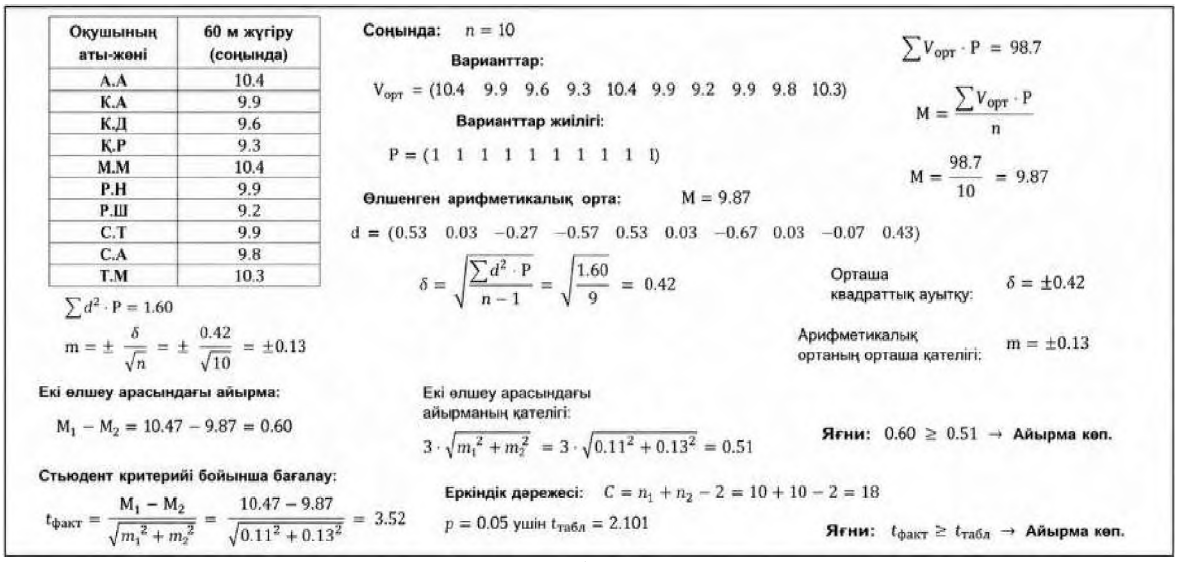
Дене шынықтыру және спорт саласындағы эмпирикалық зерттеулердің басым бөлігінде белгілі бір әдістеменің, оқу-жаттығу үдерісінің мазмұнының немесе ұйымдастыру формаларының тиімділігін анықтау мәселелері қарастырылады. Зерттеу барысында алынған сандық көрсеткіштер статистикалық өңдеуден өткізіліп, топтар арасындағы айырмашылықтардың статистикалық мәнділігі анықталды. Айырмашылықтардың сенімділігін бағалау зерттеліп отырған педагогикалық ықпалдың тиімділігін негіздеуге мүмкіндік береді [7]. Статистикалық талдау әдістерінің алуан түрлілігіне қарамастан, осы зерттеуде олардың негізгі қағидалары қолданылды. Эксперименттік және бақылау топтары көрсеткіштерінің айырмашылығының статистикалық мәнділігін анықтау үшін Стьюденттің t-критерийі пайдаланылды. Осы әдіс негізінде алынған нәтижелерге математикалық-статистикалық талдау жүргізілді. Оқушылардың 60 метр қашықтыққа жүгіру нәтижелері зерттеу басында және зерттеу соңында тіркелді. Алынған сандық деректер вариациялық қатар түрінде жүйеленіп, әрі қарай статистикалық өңдеу жүргізілді (2 сурет). Әрбір көрсеткіш бойынша орташа арифметикалық мән, орташа квадраттық ауытқу және орташа қателік есептелінді. Мәліметтердің сенімділігін анықтау мақсатында статистикалық өңдеу нәтижелері

барлық жүргізілген педагогикалық бақылау бойынша бастапқы және қорытынды өлшеулер арасындағы айырмашылықты анықтауға мүмкіндік берді. Есептелген t мәндері көрсеткіштер арасындағы өзгерістердің кездейсоқ емес екенін дәлелдейді. Зерттеу соңында 60 метр қашықтыққа жүгіру уақытының статистикалық тұрғыда сенімді түрде жақсарғаны байқалды (3 сурет). Бұл нәтижелер қолданылған педагогикалық ықпалдың тиімділігін көрсетеді. Осылайша, зерттеу деректері жылдамдық сапасын дамытуға бағытталған дене жаттығуларының ғылыми негізделгенін растайды ($P<0,05$).



Ескерту: *Статистикалық өңдеу MathCAD 15. бағдарламасын қолдану арқылы жүзеге асырылды.*

Сурет 2. 60 метр қашықтыққа жүгіру көрсеткіштерінің оқу кезеңінің басында алынған нәтижелеріне Student t – критерийі бойынша салыстырмалы талдау.



Ескерту: *(Статистикалық өңдеу MathCAD 15. бағдарламасын қолдану арқылы жүзеге асырылды)*

Сурет 3. 60 метр қашықтыққа жүгіру көрсеткіштерінің оқу кезеңінің соңында алынған нәтижелеріне Student t – критерийі бойынша салыстырмалы талдау.

t – мәндері көрсетілген 60 метр жүгіруде t = 3,52 және P < 0,05 болғандықтан, айырмашылықтар статистикалық тұрғыдан мәнді болып табылады және практикалық тұрғыдан оқушылардың дене дайындығы жақсарғаны көрінеді. Бұл нәтижелер көрсеткендей, оқу-жаттығу және оқу процесі барысында жас спортшылардың дене дайындық деңгейі жағымды динамикаға ие болды, ал педагогикалық бақылау әдістері олардың күшті және әлсіз тұстарын анықтауға мүмкіндік берді (педагогикалық бақылау нәтижелерінің барлығы өңделіп, талданды, бірақ мақалада тек осы көрсеткіш ұсынылды). Толық жеке көрсеткіштер 2-кестеде берілген.

Кесте 2. Жас спортшылардың дене дайындық сапасының көрсеткіштер арасындағы айырмашылықтың сенімділігі.

Бақылау сынақтары	Оқу кезеңінің басында	Оқу кезеңінің соңында	Абсолюттік айырма	t	P
60 м жүгіру (секунд)	10.47 ± 0.11	9.87 ± 0.13	0.60	3.52	< 0,05
1000 м жүгіру (минут)	5.28 ± 0.02	4.22 ± 0.02	1.06	3.18	< 0,05
3х10 м қайталап жүгіру (секунд)	9.65 ± 0,13	8.86 ± 0.13	0.72	3.92	< 0,05
Теннис добын лақтыру (метр)	22.2 ± 0.68	26.2 ± 0.76	4.0	3.92	< 0,05
Кермеден тартылу (рет)	11.2 ± 0.53	13.7 ± 0.56	2.5	3.24	< 0,05
Ұзындыққа секіру (см)	172.5 ± 1.61	180.2 ± 1.82	7.7	3.17	< 0,05

2-кестеде келтірілген статистикалық өңдеу нәтижелері зерттелген көрсеткіштердің оқу кезеңінің басы мен соңында айтарлықтай өзгергенін көрсетті. Student t – критерийі бойынша анықталған айырмашылықтар статистикалық тұрғыдан мәнді болды (P < 0,05), бұл бастапқы деңгей мен қорытынды бақылау көрсеткіштері арасындағы өзгерістерді объективті бағалауға мүмкіндік береді.

Физикалық белсенділіктің ағзаға әсері оның көлеміне, ұзақтығына және қарқындылығына байланысты өзгеріп отырады. Осыған байланысты дене жүктемелері шартты түрде төмен, орташа және қарқынды жүктемелерге бөлінеді [8]. Физикалық белсенділік бағдарламалары тек төзімділікті дамытуға ғана емес, сонымен қатар бұлшықет дайындығын, жылдамдық пен ептілікті жетілдіруге бағытталуы тиіс. Осыған байланысты біз аталған бағытта жұмыс жүргізіп, әртүрлі жүктеме түрлерін жасөспірімдердің дене дайындығына әсерін салыстырмалы түрде талдадық.

Зерттеу нәтижелері оқу кезеңінің соңында жас спортшылардың дене дайындығы деңгейінің біршама жақсарғанын көрсетті. Көрсеткіштердің өсу қарқыны спортшылардың жас ерекшеліктеріне, функционалдық мүмкіндіктеріне және жаттығу үрдісінің жүйелігіне бағытталған бағдарламаға байланысты екені анықталды. Алынған мәліметтер педагогикалық бақылаудың және дене дайындығын жүйелі бағалаудың маңыздылығын дәлелдейді. Осылайша, зерттеу барысында қолданылған жаттығулар кешені жас спортшылардың негізгі дене қасиеттерінің дамуына тиімді әсер етіп, барлық зерттелген көрсеткіштердің жақсаруын қамтамасыз етті. Бұл нәтижелер

жасөспірімдердің дене дайындығы олардың денсаулығы мен функционалдық мүмкіндіктерінің маңызды көрсеткіші болып табылатынын дәлелдейтін ғылыми еңбектердің тұжырымдарымен сәйкес келеді [10].

Сонымен қатар, Kuanysh Z. және авторластардың зерттеуінде алынған нәтижелер мектеп жағдайында физикалық белсенділікті бағалауда кешенді тәсілдерді қолданудың тиімділігін айқындайды. Мұндай тәсілдер деректердің нақтылығын арттырып, оқушылардың физикалық белсенділігін бағалауды жетілдіруге мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде неғұрлым дәлелді педагогикалық шешімдер қабылдауда және жасөспірімдердің денсаулық көрсеткіштерін жақсартуға ықпал етеді [9].

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу 15 жастағы орта мектеп оқушыларының дене дайындық сапасын бағалауда қолданыстағы педагогикалық бақылау құралдарды қолданудың тиімділігін көрсетті. Зерттеу барысында дене дайындық көрсеткіштері оқу кезеңінің басында және соңында өлшеніп, алынған нәтижелерге статистикалық өңдеу жүргізіліп, зерттеу міндеттері бойынша тұжырым жасалды:

1. Жас спортшылардың дене дайындық көрсеткіштерін жүйелі түрде зерттеу олардың даму динамикасын нақты бақылауға және жеке ерекшеліктерін анықтауға мүмкіндік берді.

2. Спорттық – техникалық, тактикалық мүмкіндіктерді бағалайтын педагогикалық бақылау құралдарын дұрыс таңдау және бейімдеу оқу-жаттығу үрдісінің тиімділігін арттыруға ықпал етті.

3. Жас спортшылардың дайындық деңгейін кешенді бағалауға арналған жаттығу жүйесін құру олардың жан-жақты физикалық және функционалдық дамуын қамтамасыз етуге негіз болды.

4. Алынған нәтижелерді статистикалық өңдеу зерттеу қорытындыларының сенімділігі мен валидтілігін арттырып, ғылыми негізделген тұжырымдар жасауға мүмкіндік берді.

Атап айтқанда, жүргізілген салыстырмалы талдау нәтижелері төмендегідей нәтижелерді көрсетті. Бастапқы және қорытынды бағалау нәтижелерін салыстыру оқушылардың қозғалыс қабілеттерінің даму деңгейінде оң өзгерістердің бар екенін анықталды. Статистикалық талдау дене дайындық сапасының артқанын дәлелдеп, дене шынықтыру сабақтарының мазмұнын жас ерекшеліктеріне сәйкес ғылыми негізде ұйымдастырудың маңыздылығын растады.

Зерттеу нәтижелері қолданыстағы педагогикалық бақылау оқу процесінде жүйелі түрде тиімді қолдану оқушылардың дене дайындық деңгейін объективті бақылауға, тиімділігін бағалауға және педагогикалық шешімдерді дәлелді түрде қабылдауға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Әдебиет:

1. Sun J., Sun Z., Kong J., Tian X., Wang L., Wang Q. and Xu J. (2024) Regular meta-analysis of the impact of sports activities intervention on some items of the national student physical health standards for adolescents. Front. Physiol. 15:1419441. https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1419441

2. Contardo Ayala A.M., Lander N., Mazzoli E., et al Protocol of the TransformUs Secondary schools program: a type II hybrid implementation-effectiveness trial to increase adolescents' physical activity and reduce sedentary time in secondary schools BMJ Open 2025; 15: e090468. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-090468

3. Тайжанов С. Жеңіл атлетика: әдістемелік құрал. – Алматы: «Эверо», 2025 - 6 б.

4. И.В. Батяшева, О.А. Кривец Методы определения и оценки физического развития студентов специальной медицинской группы: учебно-методическое пособие для студентов специальности 5В010801 «Физическая культура и спорт» / сост.: И.В. Батяшева, О.А. Кривец. – Алматы: Эверо, 2025. – 76 с.
5. Ашмарин Б.А. Теория и методика педагогических исследований в физическом воспитании // учебное пособие. - М: Физкультура и спорт, 1978.
6. Қазақстан Республикасын халқының дене шынықтыру даярлығына арналған президенттік тестілерін өткізу қағидаларын бекіту туралы. (2025, 12 маусым). №89. - Астана: Әділет. - 2026 жылғы 29 қаңтарда алынды. https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1400009988
7. Yang S., Chen H. 2022. Physical characteristics of elite youth male football players aged 13–15 are based upon biological maturity. PeerJ 10:e13282 https://doi.org/10.7717/peerj.13282
8. О.Ә. Сулейменов, Д.Б. Джылысбаев «Дене жаттығуларының білімгерлердің дене қабілетінің дамуына әсері» // Dulaty University хабаршысы. - 2024-1, Тараз қ. - 67 б.
9. Kuanysh Z., Vlassova A., Seidakhmetova A., Auyezkhankyzy D., Baituganova A., Saduyeva F. Effectiveness of instruments for assessing physical activity in adolescents: a systematic review. Phys Act Nutr. 2025 Sep; 29(3): 40-45. https://doi.org/10.20463/pan.2025.0024. Epub 2025 Sep 30. PMID: 41093309; PMCID: PMC12530986.
10. Ortega F.B., Ruiz J.R., Castillo M.J., Sjöström M. Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. Int J Obes (Lond). 2008 Jan; 32(1):1-11. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803774. Epub 2007 Dec 4. PMID: 18043605.
11. Silva, R.M., Clemente, F.M., González-Fernández, F. et al. Does maturity estimation, 2D:4D and training load measures explain physical fitness changes of youth football players. BMC Pediatr 22, 726 (2022). https://doi.org/10.1186/s12887-022-03801-5
12. López-Fernández, J.; Sánchez-Sánchez, J.; García-Unanue, J.; Hernando, E.; Gallardo, L. Physical and Physiological Responses of U-14, U-16, and U-18 Soccer Players on Different Small-Sided Games. Sports 2020, 8, 66. https://doi.org/10.3390/sports8050066
13. Walton C.C., Purcell R., Henderson J.L. et al. Mental Health Among Elite Youth Athletes: A Narrative Overview to Advance Research and Practice // Sports Health. – 2024. – Vol. 16, №2. – P. 166–176. – DOI: https://doi.org/10.1177/19417381231219230
14. Aubert S., Barnes J.D., Abdeta C., et al. Global Matrix 4.0 Physical Activity Report Card Grades for Children and Adolescents: Results and Analyses From 57 Countries // Journal of Physical Activity and Health. – 2022. – Vol. 19, Suppl. 2. – P. 700–728. – DOI: https://doi.org/10.1123/jpah.2022-0456
15. Clemente F.M., Ramirez-Campillo R., Sarmento H., Praça G.M., Afonso J., Silva A.F., Rosemann T. and Knechtle B. (2021) Effects of Small-Sided Game Interventions on the Technical Execution and Tactical Behaviors of Young and Youth Team Sports Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. Front. Psychol. 12:667041. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.667041
16. Teixeira J.E., Forte P., Ferraz R., Branquinho L., Silva A.J., Monteiro A.M., Barbosa T.M. 2022. Integrating physical and tactical factors in football using positional data: a systematic review. PeerJ 10:e14381 https://doi.org/10.7717/peerj.14381
17. Сисенбаева А.С., Ботагариев Т.Ә., Кубиева С.С. Орта буын мектеп оқушыларының қозғалыс белсенділігі мен салауатты өмір салтының ерекшеліктері // Дене тәрбиесінің теориясы мен әдістемесі. – 2020. – №1(59). – 97–104 б.

References:

1. Sun J., Sun Z., Kong J., Tian X., Wang L., Wang Q. and Xu J. (2024) Regular meta-analysis of the impact of sports activities intervention on some items of the national student physical health standards for adolescents. Front. Physiol. 15:1419441. https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1419441
2. Contardo Ayala A.M., Lander N., Mazzoli E., et al Protocol of the TransformUs Secondary schools program: a type II hybrid implementation-effectiveness trial to increase adolescents' physical activity and reduce sedentary time in secondary schools BMJ Open 2025; 15: e090468. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-090468
3. Taizhanov S. Athletics: methodological guide. - Almaty: "Evero", 2025. - p. 6.
4. I.V. Batyasheva, O.A. Krivets. Methods for determining and assessing the physical development of students in a special medical group: educational and methodological manual for students of specialty 5B010801 "Physical Culture and Sport" / compiled by I.V. Batyasheva, O.A. Krivets. - Almaty: Evero, 2025. – 76 p.

5. Ashmarin B.A. Theory and Methods of Pedagogical Research in Physical Education. Textbook. - Moscow: Fizkultura i Sport, 1978.
6. On Approval of the Rules for Conducting Presidential Physical Fitness Tests for the Population of the Republic of Kazakhstan. (June 12, 2025). Order No. 89. - Astana: Adilet. Retrieved January 29, 2026, from https://adilet.zan.kz/kaz/docs/V1400009988
7. Yang S., Chen H. 2022. Physical characteristics of elite youth male football players aged 13–15 are based upon biological maturity. PeerJ 10: e13282 https://doi.org/10.7717/peerj.13282
8. O.A. Suleimenov, D.B. Zhylisbaev. The influence of physical exercises on the development of students' physical abilities. // Bulletin of Dulaty University, 2024, No. 1, Taraz, p. 67.
9. Kuanysh Z., Vlassova A., Seidakhmetova A., Auyezkhankyzy D., Baituganova A., Saduyeva F. Effectiveness of instruments for assessing physical activity in adolescents: a systematic review. Phys Act Nutr. 2025 Sep; 29(3): 40-45. https://doi.org/10.20463/pan.2025.0024. Epub 2025 Sep 30. PMID: 41093309; PMCID: PMC12530986.
10. Ortega F.B., Ruiz J.R., Castillo M.J., Sjöström M. Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. Int J Obes (Lond). 2008 Jan;32(1):1-11. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803774. Epub 2007 Dec 4. PMID: 18043605.
11. Silva, R.M., Clemente, F.M., González-Fernández, F. et al. Does maturity estimation, 2D:4D and training load measures explain physical fitness changes of youth football players. BMC Pediatr 22, 726 (2022). https://doi.org/10.1186/s12887-022-03801-5
12. López-Fernández, J.; Sánchez-Sánchez, J.; García-Unanue, J.; Hernando, E.; Gallardo, L. Physical and Physiological Responses of U-14, U-16, and U-18 Soccer Players on Different Small-Sided Games. Sports 2020, 8, 66. https://doi.org/10.3390/sports8050066
13. Walton C.C., Purcell R., Henderson J.L. et al. Mental Health Among Elite Youth Athletes: A Narrative Overview to Advance Research and Practice // Sports Health. – 2024. – Vol. 16, №2. – P. 166–176. – DOI: https://doi.org/10.1177/19417381231219230
14. Aubert S., Barnes J.D., Abdeta C., et al. Global Matrix 4.0 Physical Activity Report Card Grades for Children and Adolescents: Results and Analyses From 57 Countries // Journal of Physical Activity and Health. – 2022. – Vol. 19, Suppl. 2. – P. 700–728. – DOI: https://doi.org/10.1123/jpah.2022-0456
15. Clemente F.M., Ramirez-Campillo R., Sarmento H., Praça G.M., Afonso J., Silva A.F., Rosemann T. and Knechtle B. (2021) Effects of Small-Sided Game Interventions on the Technical Execution and Tactical Behaviors of Young and Youth Team Sports Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. Front. Psychol. 12:667041. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.667041
16. Teixeira J.E., Forte P., Ferraz R., Branquinho L., Silva A.J., Monteiro A.M., Barbosa T.M. 2022. Integrating physical and tactical factors in football using positional data: a systematic review. PeerJ 10:e14381 https://doi.org/10.7717/peerj.14381
17. Sissenbayeva A.S., Botagariyev T.A., Kubiyeva S.S. Features of Motor Activity and Healthy Lifestyle of Middle School Students // Theory and Methodology of Physical Culture. – 2020. – No. 1(59). – P. 97–104.

Information about the authors

N.B. Aisina – corresponding author, Senior Lecturer of the Faculty of Pedagogy, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: nbajsina@ku.edu.kz; ORCID: 0009-0005-9856-1483;
N.I. Sabanbaev – Department of Theory and Methodology of Physical Culture and Sports Training, Faculty of Physical Culture and Sports, NLC "Karaganda National Research University named after academician Ye.A. Buketov", Karaganda, Kazakhstan; e-mail: nurbol_c@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1786-6591;
A.A. Shitov – Senior Lecturer of the Faculty of Pedagogy, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: ntvf123456@mail.ru; ORCID: 0009-0003-9050-1369;
S.P. Semenenko – Senior Lecturer, Master of Education, Faculty of Education, Manash Kozybayev North Kazakhstan University N PLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: Sergei_74_07@mail.ru; ORCID:0009-0000-9431-5975.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-148-160
УДК 372.854
МРНТИ 31.01.45

ПРЕОДОЛЕНИЕ РАЗРЫВА МЕЖДУ ТЕОРИЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТОМ: КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ В ОЛИМПИАДНОЙ ПОДГОТОВКЕ

Астапова В.Е.[1], Исабекова А.Н.[1], Сидельник Д.В.[1], Остафейчук Н.В.[1*]
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[*]Corresponding author: nataly-2708@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается проблема подготовки школьников к экспериментальному туру олимпиад по химии на примере качественного анализа неизвестных веществ. Актуальность исследования обусловлена тем, что при достаточно высоких результатах на теоретическом туре учащиеся испытывают значительные затруднения при выполнении экспериментальных заданий. В работе показана необходимость создания системного методического пособия, ориентированного не только на отработку отдельных качественных реакций, но и на формирование критического мышления, практических навыков и самостоятельного планирования эксперимента, для успешного выполнения олимпиадных заданий. Цель исследования заключается в теоретическом обосновании, разработке и апробации методических рекомендаций для подготовки учащихся к экспериментальному туру олимпиад по химии.

Ключевые слова: критическое мышление, классификация задач, качественный анализ, олимпиадное движение, методический подход, качественные реакции.

ТЕОРИЯ МЕН ЭКСПЕРИМЕНТ АРАСЫНДАҒЫ АЛШАҚТЫҚТЫ ЖОЮ: ОЛИМПИАДАЛЫҚ ДАЙЫНДЫҚТА САПАЛЫҚ ТАЛДАУ

Астапова В.Е.[1], Исабекова А.Н.[1], Сидельник Д.В.[1], Остафейчук Н.В.[1*]
[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: nataly-2708@mail.ru

Аңдатпа

Мақалада мектеп оқушыларын химия пәні бойынша олимпиаданың эксперименттік кезеңіне дайындау мәселесі белгісіз заттардың сапалық талдауы мысалында қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі оқушылардың теориялық кезеңдегі нәтижелері жоғары болғанымен, эксперименттік тапсырмаларды орындау барысында елеулі қиындықтарға тап болуымен негізделеді. Жұмыста тек жеке сапалық реакцияларды меңгеруге ғана емес, сонымен қатар сыни ойлау қабілетін, практикалық дағдыларды және экспериментті өз бетінше жоспарлау дағдыларын қалыптастыруға бағытталған жүйелі әдістемелік құралды әзірлеу қажеттілігі көрсетілген. Зерттеудің мақсаты – оқушыларды химия олимпиадасының эксперименттік кезеңіне дайындауға арналған әдістемелік ұсыныстарды теориялық тұрғыдан негіздеу, әзірлеу және сынақтан өткізу.

Кілт сөздер: сыни ойлау, есептерді жіктеу, сапалық талдау, олимпиадалық қозғалыс, әдістемелік тәсіл, сапалық реакциялар.

BRIDGING THE GAP BETWEEN THEORY AND EXPERIMENT: QUALITATIVE ANALYSIS IN OLYMPIAD TRAINING

Astapova V.E.[1], Issabekova A.N.[1], Sidelnik D.V.[1], Ostafeichuk N.V.[1*]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC,*
Petropavlovsk, Kazakhstan
[*]Corresponding author: nataly-2708@mail.ru

Abstract
The article addresses the problem of preparing school students for the experimental round of chemistry Olympiads using the example of qualitative analysis of unknown substances. The relevance of the study is обусловлена тем, что despite relatively high performance in the theoretical round, students experience significant difficulties when completing experimental tasks. The paper demonstrates the need to develop a systematic methodological guide aimed not only at mastering individual qualitative reactions but also at fostering critical thinking, practical skills, and the ability to independently plan experiments, which are essential for successfully completing Olympiad tasks. The aim of the study is to provide a theoretical justification, develop, and test methodological recommendations for preparing students for the experimental round of chemistry Olympiads.

Keywords: critical thinking, problem classification, qualitative analysis, Olympiad movement, methodological approach, qualitative reactions.

Введение

На сегодняшний день в Республике Казахстан сформировалась и эффективно действует система предметных олимпиад. За последнее десятилетие наблюдается повышение интереса у школьников к олимпиадному движению, что подтверждается их высокими результатами как внутри страны, так и на международной арене [1]. В целом, олимпиады перестали быть просто соревнованиями отличников, они превратились в эффективный механизм поиска и поддержки талантливой молодежи, способной к научно-исследовательской деятельности.

Конечно, предмет химия не является исключением и входит в число предметов, где казахстанские школьники ежегодно показывают достойные результаты. Однако, на заключительных этапах олимпиады все чаще стала наблюдаться проблема потери баллов учащимися именно на экспериментальном туре олимпиады. Анализ протоколов заключительных этапов республиканской олимпиады свидетельствует о существующем разрыве: теоретический тур многие проходят успешно, тогда как экспериментальный становится «камнем преткновения» [2].

Согласно аналитическому отчету РНПЦ «Дарын» «Итоги республиканской олимпиады по общеобразовательным предметам в 2023 году» (Астана, 2023) по химии средний процент выполнения теоретических заданий составил 64,7%, в то время как средний балл за выполнение экспериментальных заданий у участников олимпиады составил всего 41,2% от максимально возможного [3]. Эта разница в 23,5% наглядно демонстрирует трудности, с которыми сталкиваются дети при выполнении экспериментальных заданий.

Как отмечается в отчете судейской комиссии, наибольшую сложность у участников олимпиады вызывает качественный анализ неизвестных веществ. В методическом сборнике «Олимпиадное движение в Казахстане: проблемы и перспективы» (под ред. д.п.н. А.К. Курманалиной, Алматы, 2022) отмечается, что из 98 участников Республиканского тура олимпиады по химии 2022 года только 28% набрали проходной балл, составляющий 50% по экспериментальным заданиям и всего лишь 12% участников

смогли полностью правильно выполнить качественный анализ неизвестных веществ. Остальные же участники потеряли свои баллы за ошибки при выполнении эксперимента (неправильный алгоритм действий), использование неподходящих реагентов или неверную интерпретацию наблюдений [1]. Также в отчёте жюри секции «Химия» за 2024 год подчёркивается: «Наибольшие затруднения у участников вызвали задания, требующие самостоятельного построения схемы анализа. Более 65% работ содержали грубые ошибки в оформлении отчёта, что привело к снижению итогового балла на 30-

Эти статистические данные не вызывают удивления. Действительно, существует принципиальная разница между экспериментальным и теоретическим этапами. Теоретический этап требует глубокого понимания фактического материала, в то время как экспериментальный этап требует прочных практических навыков. Участники олимпиады сталкиваются не только с неизвестной задачей и ограниченным временем для ее решения, но и с проблемой планирования хода эксперимента и оформлением соответствующего отчета. Однако, в реальности школьники часто не осваивают необходимые навыки в полной мере, так как каждый из них требует отдельной, системной отработки. Указанный фактор связан с тем, что в обычной школьной практике самостоятельное планирование экспериментов заменяется готовыми руководствами по их проведению, а написание отчетов рассматривается как формальность и ограничивается лишь кратким выводом о проведенной работе. В результате практические навыки формируются не полноценно: ученик знает отдельные реакции, но не умеет выстроить их в логическую схему, не успевает, путается в записях и теряет баллы там, где мог бы блеснуть знаниями [4].

Неспособность школьников к выполнению подобных заданий возникает в связи с дефицитом актуальных методических пособий для учителей химии, которые бы не просто давали инструкции, а формировали экспериментальное мышление у детей к подобным заданиям.

Конечно, многие интернет-ресурсы предлагают экспериментальные задачи для подготовки к олимпиаде. Однако тщательное изучение этих ресурсов показало, что, хоть существующие наборы задач и содержат различные условия и решения, им полностью не хватает четкой методической системы [5]. Порядок представления задач неясен, отсутствует логическая последовательность от простых к сложным задачам и нет объяснения конкретных навыков, необходимых на каждом этапе. Столкнувшись с таким отсутствием качественных ресурсов, преподаватели, естественно, вынуждены собирать задачи из различных источников, включая наборы олимпиадных заданий прошлых лет, разрозненные онлайн-ресурсы и даже англоязычные наборы задач для практики [6]. В результате информация, предоставляемая учащимся, фрагментирована и не организована. Это неизбежно приводит к путанице среди учащихся. Они сталкиваются с проблемой отсутствия понимания общих принципов подхода к эксперименту, в результате чего не видят алгоритмов и не могут перенести отработанный навык на новую, незнакомую задачу. Эти знания не образуют единого целого, а представляют собой лишь фрагментированные «островки знаний», которые рушатся под давлением соревнований олимпиадного типа, где учащиеся должны действовать самостоятельно, а не следовать заранее установленному шаблону [7]. Соответственно вся подготовка идет не по четкой системе, а по принципу «решим как можно больше задач». Хотя этот метод может быть эффективен на теоретическом этапе, он не работает на практическом, поскольку ключ к успеху на практическом этапе заключается в качестве, а не в количестве задач.

Сложившаяся ситуация наглядно показывает, что без специально разработанных системных материалов, направленных на формирование именно экспериментальных компетенций, высоких результатов на олимпиадах достичь крайне сложно. Именно поэтому мы предлагаем разработать полноценный методически грамотный сборник для педагогов по подготовке к практическому туру олимпиад по химии.

Целью исследования является теоретическое обоснование, разработка и апробация структуры методического пособия для подготовки учащихся к экспериментальному туру олимпиад по химии (на примере качественного анализа веществ), позволяющего системно формировать необходимые практические компетенции.

Задачи исследования:

1. Провести анализ типичных ошибок и сложностей, возникающих у участников олимпиад при выполнении заданий по качественному анализу.

2. Разработать концепцию и структуру методического пособия, основанную на принципах системности, спирального усложнения и вариативности.

3. Экспериментально проверить эффективность разработанных материалов в процессе подготовки учащихся.

Объект исследования: процесс подготовки учащихся 8-10 классов к экспериментальному туру олимпиад по химии.

Предмет исследования: содержание и структура методических материалов для подготовки к качественному анализу неизвестных веществ в условиях олимпиадного эксперимента.

Материалы и методы исследования

Данное исследование проводилось в три этапа. На первом этапе были проанализированы протоколы и отчеты жюри заключительных этапов Республиканских олимпиад по химии с 2022 по 2024 год для выявления распространенных ошибок. На втором этапе на основе выявленных распространенных ошибок была разработана структура нашего методического пособия и созданы его ключевые модули. На третьем этапе в рамках команды по подготовке к олимпиаде была проведена апробация разработанных учебных материалов со школьниками, проходящих подготовку к олимпиаде по химии на дополнительных занятиях.

В исследовании приняли участие 15 учащихся 8-10 классов, разделенных на экспериментальную (8 человек) и контрольную (7 человека) группы. Учащиеся экспериментальной группы в течение 3 месяцев (январь-март) занимались по разработанной нами методике, включающей трехуровневую систему заданий и работу с матрицей анализа. Контрольная группа занималась по традиционной системе, используя сборники задач прошлых лет и интернет-ресурсы.

Для оценки эффективности используются следующие инструменты:

- Входное и итоговое тестирование, предусматривающее выполнение олимпиадного задания по качественному анализу девяти веществ, представленных в пробирках.
- Анкетирование учащихся для оценки их уровня уверенности и субъективного восприятия сложности заданий.
- Сравнительный анализ результатов выполнения заданий уровня А, В, С.

В ходе нашего исследования была разработана структура методических рекомендаций, направленных на перевод олимпиадной подготовки из режима стихийного натаскивания в режим осознанного и поэтапного формирования навыков [8]. Разработанные методические рекомендации отличаются четкой модульной структурой,

которая отражает последовательные этапы формирования экспериментальных навыков, и базируются на трех ключевых принципах:

1. Принцип системности. Каждый тематический раздел (например, «Качественный анализ веществ») включает в себя:

– теоретический блок (для учителя и для ученика), содержащий систематизированную информацию о свойствах веществ, химизме реакций и методах анализа;

– практический блок, представленный разноуровневой системой заданий;

– разбор решений, включающий не только правильный ответ, но и алгоритм действий ученика и методические рекомендации для учителя по подготовке заданий.

2. Принцип спирального усложнения. Задания выстроены по принципу возрастания сложности и самостоятельности [9]:

I. Базовые задания на закрепление теоретических знаний посредством упражнений на соотнесение ионов/ пар веществ с реагентами. Цель – запомнить все возможные аналитические особенности и четко понимать различия между качественными реакциями [10].

• Уровень А: Задания на соотнесение ионов и реагентов, качественные реакции

Уровень сложности- А

Задание 1. Установите соответствие между формулой иона и реагентом, который дает с ним качественную реакцию:

А) Cl^-	1)$AgNO_3$
Б) SO_4^{2-}	2) $BaCl_2$
В) CO_3^{2-}	3) H^+
Г) NH_4^+	4) NaOH, t°
	5) $FeCl_3$

Рисунок 1. Пример задания уровня сложности А

• Уровень В: Задания на соотнесение пар веществ с реагентом, позволяющим их различить

Уровень сложности –В

Задание 12. Установите соответствие между парой веществ, находящихся в растворах, и реагентом, с помощью которого можно отличить эти вещества друг от друга:

А) $CaCl_2$ и NaCl	1. NaOH (изб.)
Б) Na_2CO_3 и $NaNO_3$	2. HCl
В) $AlCl_3$ и $MgCl_2$	3. NaOH
Г) $AgNO_3$ и $NaNO_3$	4. $BaCl_2$

Рисунок 2. Пример задания уровня сложности В

• Уровень С: Задания на соотнесение органических веществ с их качественными реагентами

Уровень-С

Задание 21. Соотнесите химическую формулу органического соединения с реагентом, который позволяет идентифицировать его структуру.

А) $CH_2=CH_2$	1. $KMnO_4$
Б) C_2H_5OH	2. CuO, t°
В) Глицерин	3. $Cu(OH)_2$
Г) Фенол	4. $FeCl_3$

Рисунок 3. Пример задания уровня сложности С

II. Задачи на распознавание неизвестных веществ с помощью качественных реакций. Цель – опираясь на имеющийся набор используемых реактивов и результаты проводимых реакций, уметь определять неизвестные вещества.

• Задачи на идентификацию неорганических веществ

Неорганическая химия

Задача 1. Тайна «Неразрушимой Брони»

В 2045 году, в ходе раскопок на давно заброшенном заводском комплексе, археологи наткнулись на чертежи уникального глубоководного аппарата. Удивительно, но его корпус оставался совершенно нетронутым коррозией, несмотря на прошедшие десятилетия. В записях главного инженера обнаружилось упоминание о загадочной «соли двухвалентного металла», раствор которой применялся для гальванического покрытия стали. Чтобы воссоздать эту технологию, лаборанту Нику было поручено провести качественный анализ образца данной соли.

- Ник начал с добавления гидроксида натрия к раствору соли. В пробирке немедленно образовался белый, студенистый осадок. Однако, когда Ник добавил избыток щелочи, осадок полностью растворился, превратившись в прозрачный раствор. Это явление однозначно указывало на присутствие амфотерного металла, который высоко ценится в металлургии за его защитные характеристики.
- К новой порции раствора Ник прилил хлорид бария. Мгновенно выпал тяжелый белый кристаллический осадок, который оказался нерастворимым даже в сильных кислотах.

Задание:

Определите формулу и название «секретной соли».
Напишите уравнения химических реакций, проведенных Ником

Рисунок 4. Пример заданий на идентификацию неорганических веществ

• Задачи на идентификацию органических веществ

Органическая химия

Задача 1. Химический детектив.

В ходе плановой инвентаризации химических реактивов в лаборатории, лаборант Евгений обнаружил три пробирки с неидентифицированными веществами, обозначенными как X, Y и Z, чьи этикетки были утрачены. С целью предотвращения утилизации потенциально ценных реагентов, было принято решение провести их качественный анализ.

Вещество X представляло собой прозрачную жидкость с характерным резким запахом. При добавлении концентрированной серной кислоты и последующем интенсивном нагревании на спиртовке, наблюдалось выделение бесцветного газа. Этот газ был собран и обозначен как вещество Y. Для определения его химических свойств, газ Y был последовательно пропущен через водный раствор брома и подкисленный раствор перманганата калия. В обоих случаях произошло мгновенное обесцвечивание растворов, что является диагностическим признаком наличия ненасыщенных связей (кратных связей) между атомами углерода. При поджигании газ Y горел ярким желтоватым пламенем.

Наибольший интерес представляло вещество Z, также находящееся в газообразном состоянии. Согласно архивным лабораторным записям, состав газа Z был идентичен составу газа Y, что указывало на их изомерное соотношение. Однако, при попытке повторить реакции с бромной водой и перманганатом калия для газа Z, обесцвечивания растворов не наблюдалось. Газ Z демонстрировал химическую инертность по отношению к данным реагентам, хотя его горение протекало аналогично горению газа Y.

На основании полученных экспериментальных данных, Евгений сделал вывод о различии в структурной организации атомов углерода в изомерах Y и Z. В одном случае присутствует двойная связь, обусловливающая высокую реакционную способность, а в другом – атомы углерода образуют циклическую структуру, что объясняет их различную химическую активность.

Задание:

1. Установите химическую природу веществ X, Y и Z.
2. Составьте уравнение реакции дегидратации вещества X с образованием газа Y.
3. Напишите уравнение реакции присоединения брома к газу Y.
4. Объясните причину различий в реакционной способности газов Y и Z по отношению к бромной воде и перманганату калия.

Рисунок 5. Пример заданий на идентификацию неорганических веществ

III. Олимпиадные задачи по качественному анализу. Цель – уметь определять неизвестные вещества в пробирках, используя теоретическую и практические матрицы.

• Задачи на построение теоретических матриц и разработки алгоритма действий

• Эксперимент по распознаванию неизвестных веществ с помощью теоретических и практических матриц.

Задание П-2. «Карбонаты и кислоты»
В 5 пронумерованных пробирках находятся: карбонат натрия (Na_2CO_3), соляная кислота (HCl), нитрат кальция ($Ca(NO_3)_2$), сульфат магния ($MgSO_4$), вода (дистиллированная H_2O).
Задача: зная растворы, составить теоретическую матрицу. Расписать механизм, как определить, где находится вода.

Задание

Во время подготовки к химическому практикуму юный исследователь по неосторожности перепутал этикетки на пробирках. В результате девять растворов — соли, кислоты и основания — оказались без опознавательных подписей. Чтобы восстановить порядок, необходимо провести качественные реакции, используя только данные растворы в качестве реактивов, и по характерным признакам (выпадение осадков, изменение окраски, выделение газа и т.д.) определить, какое вещество находится в каждой пробирке. Вам дано 9 пронумерованных пробирок, в которых могут находиться водные растворы различных неорганических веществ — солей, кислот и оснований. Среди них могут быть: нитрат свинца(II), сульфат меди(II), раствор соляной кислоты, раствор гидроксида натрия, карбонат натрия, сульфат железа(II), сульфат алюминия, хлорид бария и сульфат цинка. Ваша главная задача- определить, какое вещество содержится в каждой из 9 пробирок.

Оформите теоретическую матрицу. Результаты анализа занесите в практическую матрицу, указав в ячейках формулы определённых веществ.

На основании полученных данных запишите уравнения химических реакций (в молекулярном и ионном виде), с помощью которых было установлено содержание каждой пробирки.

Рисунок 6. Примеры заданий с применением качественного анализа веществ

3. Принцип многообразия. В настоящей олимпиадной практике существует множество способов решения. Данное руководство призвано научить школьников видеть альтернативные решения. Для обнаружения ионов бария используют качественные реакции, сопровождающиеся образованием характерных осадков или изменением окраски пламени. Так, при взаимодействии с сульфат-ионами образуется белый осадок сульфата бария, а при взаимодействии с хромат-ионами – желтый осадок хромата бария. Кроме того, соли бария окрашивают пламя в желто-зеленый цвет.

В каждом разделе методического руководства представлены различные методы идентификации, что позволяет учащимся выбирать наиболее подходящий вариант с учетом конкретных условий выполнения задания. Это обусловлено тем, что у каждого ученика преобладает индивидуальный способ мышления: одни успешнее работают с абстрактными схемами, другие лучше ориентируются в конкретных химических уравнениях, а третьи предпочитают индуктивный путь рассуждения, опираясь на визуальные наблюдения.

Задача методического руководства заключается не в навязывании единственно правильного алгоритма, а в предоставлении учащимся нескольких способов решения, демонстрирующих различные пути к нахождению верного ответа. В связи с этим необходимо систематизировать различные способы решения типовых заданий с использованием аналитических матриц, поскольку матрица анализа выступает важным инструментом качественного анализа.

Раздел «Матрица» представляет собой систематизированную модель проведения качественного анализа в условиях «слепого» эксперимента. Философия этого раздела заключается в переходе от интуитивного перебора реактивов к построению упорядоченной системы взаимодействий. Данный раздел основан на принципе построения сетки реакций: исследуемые растворы нумеруются, а затем последовательно проверяются во всех возможных комбинациях друг с другом. Результаты взаимодействий заносятся в таблицу, что позволяет не только фиксировать появление осадков, изменение окраски или выделение газа, но и выявлять повторяющиеся закономерности.

Использование матриц позволяет систематизировать наблюдения, а также развивать навыки логического мышления, способность выявлять повторяющиеся закономерности и делать обоснованные выводы. На начальном уровне (уровень А) учащиеся эффективно запоминают типичные реакции, связывая вещества с их

качественными признаками. На среднем уровне (уровень В) они используют матрицы как вспомогательный инструмент для идентификации веществ. На продвинутом уровне (уровень С) они способны самостоятельно создавать матрицы для неизвестных смесей и выбирать необходимые реагенты.

Результаты и обсуждение

Для проверки эффективности разработанного руководства был организован и проведен педагогический эксперимент. На первом этапе работы по апробации руководства были созданы две группы учеников – экспериментальная и контрольная. Учащимся экспериментальной и контрольной групп было предложено выполнить диагностическое задание (вступительный экзамен). Задание представляло собой качественный анализ повышенной сложности (уровень С), встречающийся на экспериментальном туре олимпиад. Ребятам необходимо было определить зашифрованные вещества, находящиеся в девяти пронумерованных пробирках. Максимальное количество баллов за работу – 17.

Результаты первоначального среза знаний показали, что средний балл составил 9,7. Полностью идентифицировали все 9 веществ только 7 человек из 15 (46,7%), то есть с заданием справились меньше половины участников. Анализ действий учащихся показал, что системный подход к эксперименту (предварительное построение теоретической матрицы, планирование последовательности смешиваний) использовали лишь 5 человек (33,3%). Выполнение задания остальными участниками эксперимента было неорганизованным, реагенты смешивались без четкого плана, что затрудняло интерпретацию полученных результатов. Распределение баллов представлено в таблице ниже.

Таблица 1. Результаты входной диагностики знаний и экспериментальных умений учащихся

Критерий	Максимальный балл	Средний балл по группе (n=15)	Количество участников, получивших максимальный балл
Планирование эксперимента	2	1,0	5
Техника выполнения	3	1,7	3
Запись результатов наблюдений	2	1,1	4
Идентификация веществ	9	5,5	7
Уравнения реакций	1	0,4	6
Итого	**17**	**9,7**	–

В результате анализа работ учащихся нами были выявлены наиболее распространенные ошибки:

– отсутствие предварительного осмотра веществ в пробирках (цвет, запах раствора не фиксировался);

– смешивание растворов проводилось без последующей записи результатов;

– неверно проведена интерпретация признаков реакции (например, белый осадок $BaSO_4$ ошибочно принимали за $PbCl_2$);

– были неоднократно допущены ошибки при записи уравнений реакций (неправильно подобранны коэффициенты, а также отсутствовали записи в ионной форме).

Таким образом, результаты первоначального среза знаний по качественному анализу подтвердили наличие у учащихся типичных проблем, выявленных при анализе олимпиадных протоколов, и обосновали необходимость системной методической подготовки.

В течение следующих трех месяцев экспериментальная группа занималась по разработанному нами методическому руководству, последовательно выполняя задания уровней A, B и C, осваивая матрицы и анализируя распространенные ошибки. На заключительном этапе был проведен контрольный срез знаний. Результаты контрольного задания представлены на рисунке 4. Таким образом, средний балл в контрольной группе остался практически неизменным (с 9,7 до 10 баллов), что соответствует естественному развитию навыков без использования систематической методики. В экспериментальной группе средний балл улучшился с 9,7 до 14,3, процент выполнения заданий увеличился с 46,7% до 62,5%, а процент ошибок планирования снизился с 66,7% (при первоначальной оценке группы) до 25%. Эти данные наглядно подтверждают эффективность разработанного методического руководства.



Рисунок 7. Результаты контрольного экспериментального задания

С целью определения степени сложности освоения представленного методического пособия, а также фиксации динамики формирования навыков, среди обучающихся экспериментальной группы было проведено анкетирование. Анкета включала следующие вопросы:

1) Насколько сложной для вас была идентификация неизвестных веществ на начальных этапах обучения по сравнению с текущим уровнем подготовки? (1 -совсем не сложно, 5 - очень сложно)

➢ Результат: Средний балл 4,4.

2) Какие навыки, по вашему мнению, в наибольшей степени были усовершенствованы в процессе освоения новых методов? (Допускается несколько вариантов ответа)

➢ Результаты: 88% респондентов заявили, что умеют планировать эксперименты (составлять аналитические планы), 84% отметили свою организованность в работе, 76% заявили об уверенности в обращении с неизвестными веществами, и 68% отметили улучшение навыков фиксации наблюдений.

3) Оцените практическую целесообразность использования матриц в качественном анализе. (Варианты ответов: очень полезно, полезно, неполезно)

➢ Результаты: 92% пользователей посчитали использование метода матриц в качественном анализе «очень полезным», отметив, что он помог им упорядочить мысли и не упустить важные детали.

4) Как, по вашему мнению, представленные методы решения заданий по качественному анализу, описанные в методическом руководстве, повлияют на вашу подготовку к олимпиаде? (Варианты ответов: значительно улучшатся; улучшатся; не окажут существенного влияния)

➢ Результаты: 76% респондентов сообщили о «значительном улучшении», а 24% – об «улучшении». Отсутствие влияния на подготовку никем из учащихся отмечено не было.

Опрос показал, что учащиеся не только объективно улучшили свои результаты при выполнении заданий по качественному анализу, но и ощутили внутреннюю уверенность в своих знаниях и способностях. Кроме того, следует отметить их признание важности систематического подхода при подготовке и проведении качественного анализа смеси веществ.

Выводы

Таким образом, на основании данного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Анализ статистических данных подтверждает наличие системной проблемы в подготовке школьников к экспериментальному туру олимпиад по химии в Казахстане. Основные трудности связаны с неумением самостоятельно планировать эксперимент, нерациональным использованием реактивов и неверной интерпретацией наблюдений.

2. Разработанная концепция методического пособия, основанная на принципах системности, спирального усложнения (уровни А, В, С) и вариативности, позволяет выстроить эффективную траекторию подготовки.

3. Результаты экспериментальной апробации доказали эффективность предложенной методики. Учащиеся экспериментальной группы показали более высокий уровень сформированности практических компетенций.

4. Результаты анкетирования свидетельствуют о повышении мотивации, снижении психологического стресса перед выполнением «слепого» эксперимента и осознанном овладении методологией качественного анализа.

Таким образом, практическое применение методического руководства, разработанного на основе предложенных принципов, не только поможет улучшить результаты на химической олимпиаде, но также будет способствовать развитию у учащихся устойчивых навыков самостоятельной исследовательской работы, что является важнейшей задачей в современном химическом образовании.

Литература:

1. Отчет жюри секции «Химия» о результатах заключительного этапа республиканской олимпиады 2024 года. – Астана: РНПЦ «Дарын», 2024. – 28 с.

2. Аналитический отчет РНПЦ «Дарын» «Итоги республиканской олимпиады по общеобразовательным предметам в 2023 году». – Астана, 2023. – 45 с.

3. «Планы подготовки по химии [Электронный ресурс] //Beyond Olympiads: образовательный портал. – URL: https://olympiads.bc-pf.org/plans/chemistry

4. Гюльмамедов Д.Д. Химические олимпиады в системе современного школьного образования // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - Т. 17, № 11. - С. 268-270. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskie-olimpiady-v-sisteme-sovremennogo-shkolnogo-obrazovaniya
5. Мажибаев А.К., Шарыпова Н.В. Некоторые методические особенности подготовки школьников к олимпиадам по химии. // Вестник Торайгыров университета. Серия Педагогическая – 2025. – № 1. – С. 168–179.
6. Малыхина, Т.П. Совершенствование методики подготовки школьников к олимпиадам по химии на основе системно-деятельностного подхода / Т.П. Малыхина // Мир науки. Педагогика и психология. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 1–9. – URL: https://mir-nauki.com/PDF/74PDMN319.pdf
7. Гаджиева, С.Р. Типичные ошибки обучающихся, возникающие при изучении химии, и способы их предупреждения и коррекции / С.Р. Гаджиева, Э.Н. Алиева, Т.И. Алиева // Вестник Башкирского университета. – 2015. – Т. 20, № 2. – С. 453–457. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tipichnye-oshibki-obuchayuschihsya-voznikayuschie-pri-izuchenii-himii-i-sposoby-ih-preduprezhdeniya-i-korrektsii
8. Попкова Е.Е. Эффективность использования практико-ориентированных заданий с химическим содержанием // Современные педагогические технологии в организации образовательного пространства региона: сборник материалов. – Мичуринск, 2018. – С. 161-165.
9. Доронькин В.Н. Химия. 100 баллов до победы: пособие для подготовки к олимпиадам: учебное пособие / В.Н. Доронькин А.Г. Бережная, Т.В. Сажнева. – Ростов н/Д: Легион, 2024. – 320 с.
10. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы: учебное пособие / Под ред. Ю.А. Золотова, Т.Н. Шеховцовой К.В. Осколка. – Москва: Лаборатория знаний, 2024. – 416 с.
11. Казахстанские школьники стали сильнейшими химиками планеты: четыре медали на IChO-2025 [Электронный ресурс] // Министерство просвещения Республики Казахстан: официальный сайт. – 2025. – 14 июля. – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/edu/press/news/details/1033735?lang=ru
12. Симонова М.Ж. Химический эксперимент на областной олимпиаде школьников по химии // Учебный эксперимент в образовании. – 2021. – №. 2. – С. 45–53.
13. Серикбай М.Б., Остафейчук Н.В., Бегенова Б.Е. Роль химических олимпиад в системе образования. // Вестник Северо-Казахстанского университета имени Манаша Козыбаева. – 2020 – Т.47, №2. – С.64-68.

References:

1. Otchet zhyuri sekcii «Himiya» o rezul'tatah zaklyuchitel'nogo etapa respublikanskoj olimpiady 2024 goda. – Astana: RNPC «Daryn», 2024. – 28 s.
2. Analiticheskij otchet RNPC «Daryn» «Itogi respublikanskoj olimpiady po obshcheobrazovatel'nym predmetam v 2023 godu». – Astana, 2023. – 45 s.
3. «Plany podgotovki po himii [Elektronnyj resurs] //Beyond Olympiads: obrazovatel'nyj portal. – URL: https://olympiads.bc-pf.org/plans/chemistry
4. Gyul'mamedov D.D. Himicheskie olimpiady v sisteme sovremennogo shkol'nogo obrazovaniya // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. - 2014. - T. 17, № 11. - S. 268-270. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskie-olimpiady-v-sisteme-sovremennogo-shkolnogo-obrazovaniya
5. Mazhibaev A.K., Sharypova N.V. Nekotorye metodicheskie osobennosti podgotovki shkol'nikov k olimpiadam po himii. // Vestnik Torajgyrov universiteta. Seriya Pedagogicheskaya – 2025. – № 1. – S. 168–179.
6. Malyhina, T.P. Sovershenstvovanie metodiki podgotovki shkol'nikov k olimpiadam po himii na osnove sistemno-deyatel'nostnogo podhoda / T. P. Malyhina // Mir nauki. Pedagogika i psihologiya. – 2019. – T. 7, № 3. – S. 1–9. – URL: https://mir-nauki.com/PDF/74PDMN319.pdf
7. Gadzhieva, S.R. Tipichnye oshibki obuchayushchihsya, voznikayushchie pri izuchenii himii, i sposoby ih preduprezhdeniya i korrekcii / S.R. Gadzhieva, E.N. Alieva, T.I. Alieva // Vestnik Bashkirskogo universiteta. – 2015. – T. 20, № 2. – S. 453–457. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tipichnye-oshibki-obuchayuschihsya-voznikayuschie-pri-izuchenii-himii-i-sposoby-ih-preduprezhdeniya-i-korrektsii
8. Popkova E.E. Effektivnost' ispol'zovaniya praktiko-orientirovannyh zadanij s himicheskim soderzhaniem // Sovremennye pedagogicheskie tekhnologii v organizacii obrazovatel'nogo prostranstva regiona: sbornik materialov. – Michurinsk, 2018. – S. 161-165.

9. Doron'kin V.N. Himiya. 100 ballov do pobedy: posobie dlya podgotovki k olimpiadam: uchebnoe posobie / V.N. Doron'kin A.G. Berezhnaya, T.V. Sazhneva. – Rostov n/D: Legion, 2024. – 320 s.
10. Osnovy analiticheskoj himii. Zadachi i voprosy: uchebnoe posobie / Pod red. Yu.A. Zolotova, T.N. Shekhovcovoj K.V. Oskolka. – Moscow: Laboratoriya znanij, 2024. – 416 s.
11. Kazahstanskie shkol'niki stali sil'nejshimi himikami planety: chetyre medali na IChO-2025 [Elektronnyj resurs] // Ministerstvo prosveshcheniya Respubliki Kazahstan: oficial'nyj sajt. – 2025. – 14 iyulya. – URL: https://www.gov.kz/memleket/entities/edu/press/news/details/1033735?lang=ru
12. Simonova M. Zh. Himicheskij eksperiment na oblastnoj olimpiade shkol'nikov po himii // Uchebnyj eksperiment v obrazovanii. – 2021. – №. 2. – S. 45–53.
13. Serikbaj M.B., Ostafejchuk N.V., Begenova B.E. Rol' himicheskih olimpiad v sisteme obrazovaniya. // Vestnik Severo-Kazahstanskogo universiteta imeni Manasha Kozybaeva. – 2020 – T.47, №2. – S.64-68.

Information about the authors

Astapova V.E. – master's student, Department of Chemistry and chemical technologies, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: 20astapova04@gmail.com;
Issabekova A.N. – master's student, Department of Chemistry and chemical technologies, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: isabekova673@gmail.com;
Sidelnik D.V. – master's student, Department of Chemistry and chemical technologies, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: ditcdara@gmail.com;
Ostafeichuk N.V. – corresponding author, senior Lecturer, Department of Chemistry and chemical technologies, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: nataly-2708@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2808-080X.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-161-171
ӘОЖ 811.512.122'243
ҒТАМА 14.25.09

ҰЛТТЫҚ ЖАЛПЫ БІЛІМ БЕРЕТІН МЕКТЕПТІҢ 7-СЫНЫБЫНДА ҚАЗАҚ ТІЛІН ДЕҢГЕЙЛЕП ОҚЫТУ ӘДІСТЕМЕСІ

Есматова М.Т.[1*], Зейлова М.Ш.[2]
[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[2]«№49 орта мектеп» КММ, Қызылорда, Қазақстан
[*]Хат-хабар үшін автор: esmatova@mail.ru

Андатпа

Бұл мақала қазақ тілді емес мектептердегі 7-сынып оқушыларына арналған деңгейлеп оқыту әдістемесіне арналған. Деңгейлеп оқыту әдісі оқушылардың білім деңгейін, қабілеттерін және жас ерекшеліктерін ескере отырып, тиімді білім беру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бұл оқыту әдісі арқылы білім алушылардың пәнге қызығушылығын артыру, оқу материалын жеңіл меңгеру, шығармашылық және танымдық қабілеттерін дамыту мәселелері шешіледі. Мақалада деңгейлеп оқытудың теориялық негіздері, қазақ тілді емес оқушыларды оқытудағы ерекшеліктері, сабақта қолданылатын әдіс-тәсілдер және нақты практикалық ұсыныстар қарастырылады. Осы мақалада деңгейлеп оқыту әдісінің ерекшеліктері, әдістері мен 7-сынып оқушыларына арналған нақты ұсыныстар талданады. Сондай-ақ, оқушылардың коммуникативті дағдыларын дамытуға, тілге деген қызығушылықтарын арттыруға бағытталған инновациялық тәсілдер ұсынылған, оқу сапасын арттырудағы рөлі мен мұғалім жұмысының нәтижелілігіне ықпалы сипатталады. Мақала қазақ тілін екінші тіл ретінде меңгеру үдерісін жеңілдету жолдарын көрсетуді көздейді.

Кілт сөздер: әдіс, дифференциалды оқыту, деңгей, әдіс-тәсілдер, коммуникативті дағдылар, сөздікпен жұмыс, білім беру.

МЕТОДИКА УРОВНЕВОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ 7 КЛАССА НАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЫ

Есматова М.Т.[1*], Зейлова М.Ш.[2]
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[2]КГУ «Средняя школа №49», Кызылорда, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: esmatova@mail.ru

Аннотация

Данная статья посвящена методике уровневого обучения учащихся 7-х классов в школах с неказахским языком обучения. Метод уровневого обучения обеспечивает возможность эффективного обучения учащихся с учетом их уровня знаний, способностей и возрастных особенностей. С помощью данного метода обучения решаются вопросы повышения интереса обучающихся к предмету, легкого усвоения учебного материала, а также резвития творческих и познавательных способностей. Через данный метод обучения решаются задачи повышения интереса учащихся к предмету, легкого усвоения учебного материала, а также развития их творческих и познавательных способностей. В статье рассматриваются теоретические основы уровневого обучения, особенности обучения не казахоязычных учащихся, методы и приемы, используемые на уроке, и конкретные практические рекомендации. В данной статье рассматриваются особенности метода, методы и конкретные рекомендации для учащихся 7 класса. Также представлены инновационные подходы, направленные на развитие коммуникативных навыков учащихся, повышение их интереса к языку, описываются их роль в повышении качества обучения и влияние на

результативность работы учителя. В статья показаны пути упрощения процесса освоения казахского языка как второго языка.

Ключевые слова: метод, дифференциальное обучение, уровень, методы и приемы, коммуникативные навыки, работа со словарем, образование.

METHODS OF LEVEL TEACHING FOR 7TH CLASS OF NATIONAL COMPREHENSIVE SCHOOL

Esmatova M.T.[1*], Zeilova M.Sh.[2]
[1*]*Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[2]*School No. 49 CGA, Kyzylorda, Kazakhstan*
[*]*Corresponding author:* esmatova@mail.ru

Abstract

This article is devoted to the methodology of level-based education of 7th grade students in schools with a non-Kazakh language of instruction. The method of level-based learning provides an opportunity for effective learning of students, taking into account their level of knowledge, abilities and age characteristics. With the help of this teaching method, the issues of increasing students' interest in the subject, easy assimilation of educational material, as well as the development of creative and cognitive abilities are solved. Through this teaching method, the tasks of increasing students' interest in the subject, easy assimilation of educational material, as well as the development of their creative and cognitive abilities are solved. The article discusses the theoretical foundations of level-based learning, the features of teaching non-Kazakh-speaking students, the methods and techniques used in the lesson, and specific practical recommendations. This article discusses the specifics of the method, methods, and specific recommendations for 7th grade students. Innovative approaches aimed at developing students' communication skills and increasing their interest in language are also presented, their role in improving the quality of education and the impact on teacher performance is described. The article aims to show ways to simplify the process of learning Kazakh as a second language.

Keywords: method, differential learning, level, methods and techniques, communication skills, working with a dictionary, education.

Кіріспе

Білім беру саласында күрделі мәселелердің бірі – деңгейлеп оқыту. Үлгерімі мен қабілеті, дамуы әртүрлі балалар бір маманнан бір сабақта, бір уақытта білім алады. Олардың қабілетіне, деңгейіне сай болуы үшін, жоғары нәтижеге жету үшін әртүрлі тапсырмалар арқылы, жаттығулар мен ойындар ұйымдастыру керек.

Қазіргі уақытта қазақ тілінен басқа тілде оқытылатын жалпы білім беретін мектептерде (Т2) пән ретінде оқытылады. Т2 дегенге түсінік беріп өтсек, ол – белгілі бір тілдің екінші тіл ретінде оқытылуы. Бұл оқытудың өзіндік қиындықтары мен ерекшеліктері бар. 7-сынып оқушыларының танымдық қабілеттерін, жас ерекшеліктерін ескере отырып, қазақ тілін үйретуде деңгейлеп оқыту әдістемесі тиімді құрал, сондықтан оқушылардың білім деңгейін саралап, әрбіріне жеке көзқараспен қарауға мүмкіндік береді.

Дифференциалды оқыту – білім алуға, балаларды оңай, әрі жеңіл оқытуға бағыттаған үлкен жұмыс болып саналады. Ол өз бетінше әрі мұғалімнің жетекшілігімен, қадағалауымен және жеке әдістемесімен жүзеге асады. Біз басшылыққа алып отырған саралай оқытудың негізін Б. Ананьев, Л. Выготский, А. Леонтьев атты ғалымдардың зерттеулерінде қарастырады. Қазақстанда дифференциалды оқыту әдістемесіне қатысты зерттеулер педагогика және психология саласында жүргізілуде. Қазақ ғалымдарынан

әдіскер-ғалым Ж.А Қараев, Б.Ж. Кулжаева, Н.А Баубекова, Б.К. Аубакирова еңбектері мен тұжырымдары саралап-деңгейлеп оқыту технологиясын мектеп тәжірибесінде енгізуге және дамытуға арналған. Бұл ғалымдардың әдістемелік жүйесіне тоқталып, оқушының жеке қабілеті мен білім деңгейін ескере отырып, оларды өздігінен ізденуге және шығармашылыққа жетелеуді көздейтін оқытудың деңгейлерін көрсетеді [1].

Қазақстанның білім беру жүйесінде жеке тұлғаның жан-жақты дамуына ерекше көңіл бөлінеді. Бұл білім беруді әр оқушының қабілеттері мен ерекшеліктеріне бейімдеуді талап етеді. Дифференциалды оқыту әрбір баланың жеке даму траекториясын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, оқыту сапасын арттырудың басты мақсаттарының бірі. Қазақстанда соңғы жылдары білім беру жүйесінде реформалар жүзеге асырылып, әлемдік стандарттарға сәйкестендіру көзделуде (мысалы, 12 жылдық білім беру, жаңартылған оқу бағдарламалары). Дифференциалды оқыту әдістері осы реформалардың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады, өйткені ол оқушылардың түрлі деңгейдегі дайындықтарына сай икемді оқыту жүйесін құруға көмектеседі. Деңгейлеп оқыту инклюзивті білім беруде оқушылардың оқу бағдарламасын меңгеруін жеңілдететін тиімді құрал болып саналады. Дифференциалды оқыту – мұғалімдерге оқушылардың әртүрлі оқу қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін бастапқы нүктені беретін педагогикалық-дидактикалық тәсіл. Дифференциация теориялары бірнеше жетекші қағидаларымен байланысты. Олар әрбір пән саласындағы негізгі дағдыларға назар аударады, оқушылардың жеке ерекшеліктеріне бейімделуі, бағалау мен оқытуды кіріктіруді, сондай-ақ білім алушылардың оқу қажеттіліктерін қанағаттандыру мақсатында мазмұнды оқу үдерісін және оқу нәтижелерін үнемі түзетіп отыруды қамтиды. Аннемике Смале-Якобсе (Smale-Jacobse), Анна Мейер, Мишель Хелмс-Лоренц және Ридван Маулананың 2019 жылы жүргізген зерттеуі саралап оқытудың тиімділігіне арналған іргелі жүйелі шолу мен метаталдау болып табылады. Авторлар эмпирикалық зерттеулердің нәтижелерін талдап, оқу үдерісін білім алушылардың жеке қажеттіліктеріне бейімдеудің олардың оқу жетістіктеріне қалай әсер ететінін бағалаған [2, 3 б.].

Саралап оқытуға тәжірибеде және зерттеулерде көп көңіл бөлінгенімен, эмпирикалық дәлелдемелердің жағдайы және оның орта мектеп оқушыларының жетістіктерін жақсартудағы пайдасы жайлы мәліметтер аз емес. Эмпирикалық зерттеулерді анықтау үшін келесі іздеу терминдері пайдаланылды: Differentiated Instruction (саралап оқыту), Differentiated Learning (сараланған оқу), Differentiated Strategy (сараланған стратегия), Differentiated Reading (сараланған оқу әрекеті) және Differentiated Practices (сараланған тәжірибелер). Саралап оқытуға байланысты жазылған еңбектердің ішінде М.А. Ам, С. Хади, Х. Ретнаватидің «Влияет ли дифференцированное обучение на результаты обучения? Систематический обзор и метаанализ» мақаласы негізге алынды [3].

Зерттеушілер дифференциалды оқытуды зерттей отырып, қазіргі қоғамның талаптарына сәйкес білім беруді бейімдеуді көздейді. Бұл әдіс тек білім сапасын арттырып қана қоймай, әрбір оқушының жеке мүмкіндіктерін ашуға жағдай жасайды. Осылайша, дифференциалды оқыту елдегі білім берудің жаңғыруына және бәсекеге қабілетті ұрпақ тәрбиелеуге маңызды үлес қосады.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Деңгейлеп оқыту технологиясы негізінде оқу процесінің ұйымдастырылуын қадағалау барысында сараптау әдісі, деңгейлік тапсырмаларды әзірлеу кезінде жүйелеу әдісі қолданылады. Тілдік дағдыларды дамытуда тыңдалым, айтылым, оқылым және

жазылым бойынша тапсырмалар жүйелеу әдісі тұрғысынан құрастырылады. Нәтижесі сипаттау әдісі негізінде әрбір оқушының жеке мүмкіндіктерін ескере отырып шығарылады, тіл үйренушілердің өздеріне деген сенімін арттырып, оларды белсенді оқуға ынталандыратын, тиімді меңгертуге септігін тигізетін жолдар көрсетіледі.

Зерттеу нәтижесі

Деңгейлеп оқыту – білім беру жүйесінде оқушылардың жеке ерекшеліктерін, қабілеттерін және қажеттіліктерін ескеретін әдіс. Қазақ тілін екінші тіл ретінде меңгертуде бұл әдіс ерекше маңызды, себебі ол оқушылардың тіл үйренуге деген ынтасын арттырып, олардың мүмкіндіктерін толық іске асыруға жағдай жасайды. Сыныпта болып жатқан жүйені қадағалау даралау принципіне негізделеді. Әр оқушының көзқарасы мен ойлары, қабілеті мен дағдылары, шешімдері мен міндеттері жүйеленеді.

«Даралау принципі әр оқушының бірегейлігі және жеке көзқарас қажеттілігі идеясына негізделген. Оқыту бір-бірден жүреді, оқу курсының бірдей міндеттері бар оқушы қажеттіліктері мен қабілеттерін ескере отырып, жеке тапсырма алады. Даралау оқушыны білім беру әлемінің орталығына қояды және нені, қалай және қашан оқу керектігін өз бетінше шешуге мүмкіндік береді. Оқушы оқу әдісін өзі таңдайды, оқу мақсаттарын анықтайды, бірақ мұғалім тәлімгер ретінде қажет» [4, 4 б.].

Қазіргі уақытта қоғамда білімді, өз бетімен ойлай алатын және негізделген шешімдер қабылдай білетін адамдарға сұраныс артуда. Бұл ретте шығармашылық тұлғаны тәрбиелеу маңызды орын алады, себебі ол алынған мәліметтерді сыни тұрғыдан бағалау, талдау және ойлау қабілетін дамытуға, ең тиімді шешімдер қабылдауға немесе жаңа әдістер ойлап табуға ықпал етеді. Мектептерде білім беру процесі тек оқушыларға білім беру мен тәрбие беру міндетін атқарып қана қоймай, сонымен қатар ұлттық мәселелерді шешуге, оның ішінде мемлекеттік тілге деген құрмет пен сүйіспеншілікті қалыптастыруға да бағытталған. Қазақ тілі – мектеп бағдарламасында міндетті пән, мұғалімдер үшін оқыту сапасына деген жауапкершілік аса маңызды. Сонымен қатар, балаларды толеранттылыққа тәрбиелеуде тиімді құрал бола алады, себебі ол әрбір оқушының жеке ерекшеліктерін, қабілеттерін, көзқарастарын және мәдениеті мен әлеуметтік ортасын ескере отырып, оқыту үдерісін ұйымдастыруға негізделген. Бұл әдіс оқушыларды өзіне және өзгелерге құрметпен қарауға, әртүрлілікті қабылдауға үйретеді. Білім сапасына айтарлықтай оң әсер етеді, өйткені ол әрбір оқушының жеке қажеттіліктері мен мүмкіндіктерін ескере отырып, оқыту үдерісін ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Сынып ішінде барлық оқушыны қабілеті мен олардың артықшылықтарын алдыңғы қатарға қояды. Сол себепті педагог маманның алғашқы өзіне қояр сұрағы «Барлығына қалай үйретуге болады?» деген мазмұнда болуы керек. Егер оқыту бағдарламасы мен әдісін тек «орташа» оқушыға бағыттайтын болса, онда «қабілетті» оқушылар еленбей, «әлсіздер» қолдау таппай қалуы мүмкін. Оқушыларға пәнді міндетті түрде оқу қажеттілігі кейбіреулерінде психологиялық кедергілер туғызып, оқу нәтижесіне теріс әсер етуі мүмкін. Тым көп тапсырмалар, көбінесе, оқушылардың өз мүмкіндіктеріне деген сенімін жоғалтуға алып келіп, оларды жеңіл жұмыстардан бас тартуға мәжбүр етуі мүмкін. Осылай жұмыс жасау оқушылардың дағдыларын қалыптастырмай, қызығушылығын төмендететін жағдайға әкеледі. Мектеп оқушыларының пәнге деген қызығушылықты арттыру, оларға табысты оқуға мүмкіндік жасау, оқу еңбегіне деген оң көзқарасты дамыту, материалдың қиындық деңгейі мен оны меңгеру мүмкіндігінің арасындағы қарама-қайшылықты анықтау – мұғалімнің парызы. Сонда ғана еңбектің нәтижесі көрінеді. Қазіргі білім беру жүйесінде оқытудың оқушы қабілетіне бағытталуы, оқушыларды жеке дара және деңгейлі оқыту үлкен маңызға ие.

Оқу процесінде оқушылардың жеке ерекшеліктерін ескере отырып, әр оқушыға қолайлы жағдай жасау, олардың негізгі білім беру бағдарламасын меңгеруі үшін қолайлы деңгейде тапсырмалар беру, оқытудың сапасын арттыру және оқушының психологиялық жайлылығын сақтап қалу мақсатында деңгейлік саралау әдісі қолданылады.

Оқушылардың арасында С деңгейінен жоғары дарынды балалар да болады. Дарындылық – жоғары шығармашылық әлеует, жеке тұлғаның және әлеуметтік-мәдени ортаның когнитвитік, мотивациялық, эмоционалдық, ерікті және басқа да ерекшеліктерінің жүйелі өзар аәреттесу нәтижесіндегі баланың біртұтас сипаттамасы, ол әрі қарай дамуы үшін ерекше талаптар мен тапсырмалар жүйесі құрылады. Олар өздерінің танаттары мен қабілеттерін дамытуға кедергі келтірілуі мүмкін қиындықтарға ұшырамауы керек. Бағдарлама барлық оқушыларға бірдей құрылады, ал дарынды балаларға арналған жүктеме өзгеше болу керек [4]. Бұл еңбек – мектептегі **қазақ тілі сабақтарында** әр оқушының жеке қабілеті мен дайындық деңгейін ескере отырып, білім беру процесін тиімді ұйымдастыруға арналған әдістемелік құрал.

Оқушыларды саралап білім берумен оларға мүмкіндігіне, қажеттіліктеріне қарай оқыту кезінде үлкен жұмыстар атқарылады. Мұғалім, алдымен, оқу бағдарламасы, тақырып, білім беру мақсаттарымен танысып, сол бойынша ресурс жинайды. Әрбір оқушыға жеке мән беріп, мақсаттары ескеріледі, жұмыстар арқылы түсіндіріледі. Деңгейлері бойынша тапсырмалардың қиындық деңгейі әр оқушының мүмкіндігіне қарай беріледі. Уақыт бойынша оқу және тапсырмаларды орындау әр оқушының қажеттілігіне сай реттеледі. Оқу материалының мазмұны бойынша әрбір оқушының деңгейіне сай оқу материалы ұсынылады. Балалар осы уақытқа дейін өткен бағдарлама мен білімді қолдануы әр оқушының қабілетіне байланысты. Сондықтан әр оқушының жетістігін жеке бағалауға, деңгейін анықтауға мүмкіндік беріледі.

К.Э. Томлинсон зерттеулеріне сәйкес оқушылардың дайындық деңгейіне, қызығушылықтары мен оқу бағдарына қарай мазмұн арқылы саралау тәсілдері мыналарды қамтиды: әртүрлі деңгейдегі мәтіндерді ұсынуға, қабілеті жоғары оқушылар үшін тереңдете оқытуды ұсынуға дайын болу; әр оқушының белгілі бір тарау немесе бөлімді оқуды қай деңгейде бастау керектігін анықтау үшін алдын-ала тапсырма немесе сұрақтар беру; оқу бағдары – ақпаратты визуалды, аудио және басқа да формаларда ұсыну, ол үшін әртүрлі қосымшалар мен мысалдарды пайдалану. Блум таксономиясының әртүрлі деңгейлеріндегі ойлауды ынталандыру (есте сақтау, түсіну, қолдану, талдау, бағалау және жасау). Ұйымдастырылған оқу жоспарын әр бөлім бойынша шағын бөліктерге бөлу. Келесі – процесс арқылы саралау. Оқушы үшін оқу дағдыларын дамытуға арналған материалдардың қолжетімді болуы керек. Есту арқылы қабылдайтын балаларға аудио тапсырма, көру арқылы қабылдайтын оқушыларға видеосабақтар, тәжірибер арқылы қабылдайтын білім алушыларға тәжірибелік іс-шараларды әзірлеу керек. Оқушылардың сұранымдары мен қалауы бойынша өз бетінше оқу қызметіне арналған орындар керек. Жасау керек қадамдардың тізімі мен нұсқаулар болуы шарт. Оқушылардың дайындығына, қызығушылығына және оқу бағдарына қарай өнім арқылы саралау тәсілдерін де атап өтеді. Заманауи әдістер мен бақылау стратегияларын пайдалану. Оқушыларға оқытудың бейіміне қарай ойын және жұмыс түрлерін ұсынуға болады. Оқу ортасы арқылы саралау тәсілдеріне – сабақ беру кезінде, оқыту үдерісінде психологиялық элементтерді де қамту арқылы оқуды жеңілдетуге болады. Қызығушылығы бір балаларды топтастырып, жеке тапсырмалар беру [5].

Коммуникативтік құзыреттілікті кезең-кезеңімен қалыптастыруға бағытталған тілдік деңгейлеп оқыту жүйесінің ғылыми-теориялық негіздері қарастырылған

Б.Қ. Мұратбек, Қ.Ш. Жұбанышева «Тілді деңгейлік оқыту жүйесінің ғылыми негіздері» мақаласында қазақ тілін деңгейлеп оқытудың тиімділігін қамтамасыз ететін тұжырымдамалық қағидаттарды, әдіснамалық ұстанымдарды және педагогикалық шарттарды талдайды. Білім алушылардың танымдық үдерістері, оқу мотивациясы мен тілдік дағдыларының бірізді дамуы арасындағы өзара байланысқа ерекше назар аударылған. Отандық және шетелдік зерттеулерді талдау негізінде тілдік білім беру жүйесіне деңгейлеп оқыту моделін енгізудің қажеттілігі дәлелденіп, оның білім беру сапасын арттыруға және заманауи талаптарға сәйкестігін қамтамасыз етуге ықпал ететіні негізделеді [6].

Деңгейлеп оқыту – жоспарлы ойластырылған үдеріс. Әрбір оқушының өзіндік қабылдауы ерекше болады. Алғашқы күннен бастап сыныпты зерттеу қажет. Кей оқушылар топтық жұмыс кезінде ашылып жатады, ал басқа оқушылар жеке тапсырма кезінде өз қабілетін көрсетеді. Сыныптың аз бөлігі шығармашылыққа, кейбіреуі сөйлеуге, мүмкін жазуға ынтасы болады. Сондықтан бала ерекшелігі мұғалім үшін маңызды. Мектеп оқушыларын қабылдағанда, ең алдымен, сынып мұғалімімен сөйлесіп, әр оқушының ерекшеліктерін зерттеу қажет. Бұл олардың физиологиялық, психологиялық және тұлғалық ерекшеліктерін де қамтиды. Керек болған жағдайда отбасы жағдайларын да ескерген дұрыс. Егер баланы тәрбиелегіміз келсе, алдымен, баланы жан-жақты тануымыз қажет. Бұл үшін оқушылардың орындаған тапсырмалары, жауаптары, ата-аналармен әңгімелер, психолог пен сынып жетекші кеңестері пайдаланылады. Сондай-ақ, әртүрлі деңгейдегі тапсырмаларды орындау арқылы бастапқы зерттеулер жасалады.

7-сынып оқушылары – жасөспірімдік кезеңнің алғашқы сатысында тұрған балалар. Бұл кезеңде олардың қызығушылықтары мен қабілеттері айқындалып, танымдық белсенділігі артады. Дегенмен, тілді меңгеруде лексикалық қордың аздығы, сөз тіркестері мен сөйлемдерді құраудағы қателіктер, грамматикалық ережелерді түсініп, қолданудағы олқылықтар мен мәселелерді түсіну кезінде қиындықтар болуы мүмкін. Бұл жаста оқушылардың қабілеттерін ескере отырып, сабақтар қызықты ұйымдастырылуы керек. Кейін қателерді талдап, осы жұмыс негізінде оқушылардың дамуы және оқу деңгейі бағаланады. Сыныпты қабілет деңгейіне қарай топтарға бөлу пайдалы, себебі мұғалім әр топпен бөлек жұмыс істеп, оқу нәтижелерін жақсарта алады.

Әдетте оқушыларды үш деңгейге бөледі:

1. Жоғары деңгей (С деңгейі): Бұл топта өз бетінше ойлай алатын, оқу материалын жақсы меңгеретін, тапсырмаларды жылдам әрі жоғары деңгейде орындайтын оқушылар. Мәтін жазып, пікірталасқа қатыса алады. Оларды дамыту мақсатында оларға күрделі және шығармашылық тапсырмалар беріледі.

2. Орташа деңгей (В деңгейі): Бұл топтағы оқушылар мұғалімнің көмегін қажет етеді, жаңа материалды тек таныс жағдайларда қолдана алады. Суреттер бойынша әңгіме құрай алады, сұрақтарға жауап береді.

3. Төмен деңгей (А деңгейі): Оқу үлгерімі төмен, білімге қатысты қолдауды жиі қажет ететін оқушылар. Оларға қарапайым тапсырмалар мен мұғалімнің үздіксіз көмегі қажет. Сөздер мен сөйлемдерді сәйкестендіру, сөз тіркестерін толықтыру, бос орынға тиісті сөздерді қою сынды тапсырмалар орындайды. Бұл топтарға бөліну тұрақты емес, оқушылар өз біліміне қарай деңгейлерін өзгерте алады. Әр деңгейдегі оқушыларға арнайы тапсырмалар беріліп, олардың дамуына қарай мұғалім сабақта жеке әдістер қолдануы тиіс. Оқушылардың сабақта жайлы сезініп, материалды өз қабілеттеріне сай меңгеруіне жағдай жасау. Балаларға деңгейлеріне байланысты тапсырмалар беру –

дифференциалды оқытудың негізгі принциптерінің бірі. Оқушылардың танымдық қабілеттеріне, білім деңгейіне, оқу қарқынына және жеке қажеттіліктеріне сәйкес бейімделген тапсырмалар арқылы олардың білім алу тиімділігін арттыруға бағытталған болу шарт. Мысалы, бала 7-сыныпқа келгенде, осы уақытқа дейінгі өтілген тақырыптар мен ережелерді қайталау керек. Педагог баланы деңгейіне бөлмес бұрын, оны бір апта сабақ барысында қадағалайды. Кейінгі апталарда тапсырмаларды дайындап, деңгейін анықтайды. 6-сыныпта өткен тақырыптарды талдап, тапсырмаға енгізу керек. Оқушылар 6-сыныпта зат есім және оның түрлерін меңгерген. Оқытушы сыныпта тапсырма орындау кезінде өткен сабақтан алған білімін тексереді. Мысалға бір тапсырма үлгісі беріледі.

Тапсырма:

ТІЛ ҮЙРЕНУДІҢ ҚҰПИЯСЫ

Басқа тілді үйрену үшін, ең алдымен, ана тіліңнің қыр-сырын жақсы білуің керек. Өз тіліңді жақсы білсең ғана, басқа тілді үйрене аласың. Кейбір зерттеушілердің пікірінше, басқа тілде өз ойыңды жеткізу үшін 2 мың белсенді сөзді білген дұрыс. Сонда ғана кітап оқып, емін-еркін ақпарат алуға болады. Ол үшін тіл үйрену курстарына барған дұрыс. Кем дегенде 5 мың сөз игерсең, ақпарат есігі ашылады.

Қазақ тілі – көркем тіл. Ол синоним сөздерге, фразеологизмдерге, мақал-мәтелге бай. Қазақ тілі түркі тілдер тобына жатады. Қазақ тілін білген адамға өзбек, түрікмен, ұйғыр тілдерін түсіну оңай. Орыс тілі славян тілдері тобына жатады. Олай болса, орыс тілін білетін адам украин, белорус, поляк, чех тілдерінің ерекшеліктерін тез меңгереді. Қытай тілінде 10 мыңдай таңбаны үйренсең, жапон жазуын да тез үйренесің.

1. Берілген сөйлемдерден зат есім мен сын есімдерді табыңыз.
2. Зат есімдерді сын есімдермен жұптастырыңыз.
3. Олардың түрлерін анықтап, сөйлемдер құраңыз.

Сөздікпен жұмыс – балалардың тілдік қабілеттерін дамытудағы негізгі құралдардың бірі. Ол сөздік қорын кеңейтіп, танымдық дағдыларын арттырады, сөйлеу және жазу мәдениетін қалыптастырады. Тілге деген қызығушылығын оятып, олардың оқу жетістіктерін жақсартуға мүмкіндік береді. «Әдебиет пен қазақ тілі сабағы, көбінесе, сөздік әдістер арқылы білім беретін пән болғандықтан, даналық ойдың маржанын түсініп, дұрыс ұғынып, талдау үшін әр білім алушы санамен саралап, түйсігімен топшылауы қажет» [7].

А деңгей тапсырмасы:

1. Мәтіннен тек зат есімдерді теріп жаз да, олардың көпше түрін жаса. Мысалы: Тіл – тілдер

В деңгей тапсырмасы:

2. Мәтіннен зат есімдер мен сын есімдерді жұптастырып, 5 сөз тіркесін жаса. Мысалы: Көркем тіл

С деңгей тапсырма:

3. Мәтіндегі зат есімдер мен сын есімдерді қолданып, тіл үйренудің артықшылықтары туралы 4-5 сөйлем жаз. Мысалы: Қазақ тілі – көркем және бай тіл.

«А» бағдарламасындағы тапсырмалар базалық стандарт түрінде белгіленеді. Оларды орындай отырып білім алушы пән бойынша қайталау деңгейінде нақты материалды меңгереді. «В» бағдарламасын орындамас бұрын «А» бағдарламасындағы тапсырмаларды әрбір білім алушы орындауға міндетті. «В» бағдарламасын қолдануға арналған есептерді орындау үшін қажет, ол білім алушылардың оқуға деген ынтасын қалыптастыруды қамтамасыз етеді. Сондықтан бұл бағдарламаға бірінші деңгейдегі

материалды кеңейтетін, негізгі білімді дәлелдейтін, суреттейтін, нақтылайтын ұғымның қолданылуы мен жұмыс істеуін көрсететін қосымша мәліметтер енгізіледі. Бұл деңгей мәліметтер көлемін кеңейтіп, негізгі материалды терең түсінуге көмектеседі. «С» бағдарламасының орындалуы білім алушыларды алған білімді шығармашылықпен қолданылатын деңгейге көтереді. Осындай жұмыстардың, зерттеулердің нәтижелерін бағалау үшін метаанализ жүргізіледі, яғни нәтиженің бірізді және салыстырмалы түрдегі қорытындысы беріледі.

Мұғалімнің сабақта таңдаған жұмыс қарқыны оқушылардың белгілі бір бөлігі үшін ғана оңтайлы (тиімді) болып шығады. Ал басқалары үшін ол тым жылдам, үшіншілері үшін өте баяу. Сондай-ақ бір үлгідегі оқу материалы білім алушылардың бір тобына түсіну үшін қиындық тудырса, екінші бір топқа ешқандай қиындық келтірмейді. Мысалы, бір тапсырманың немесе жаттығудың шартын білім алушылардың бірі алғашқы оқығаннан-ақ бірден түсінсе, екіншілеріне оны бірнеше рет қайталау қажет болады, ал үшіншілеріне егжей-тегжейлі түсіндіру жұмыстары керек [8, 2 б.]. Сөзіміз дәлелді болу үшін тағы бір мысал келтіріп өтеміз,

8-тақырыптың 1-2 сабағы – Маған классикалық музыка ұнайды [9]. Оқулықпен жұмыс жүргізе отырып, 7-сынып оқушыларының жас ерекшелігі мен тілді екінші тіл ретінде меңгеру деңгейін ескере отырып айтылым және жазылым тапсырмаларының үлгілерін де көрсетуге болады. Мысалы, А деңгейіне осы сабақта қойылатын мақсат – сөздік қорды жинақтау, қарапайым сөйлемдер құру және сұрақтарға қысқа қайыру. Айтылым бойынша – «Сұрақ-жауап және серіктес» әдісі қолданылады. Тапсырма: Берілген тірек сөздерді пайдаланып, сыныптасыңмен бірге шағын диалог құра (тірек сөздер беріледі). Жазылым – көп нүктенің орнын тап. Тапсырма: Көп нүктенің орнына тиісті сөздерді қойып, көшіріп жазу. Маған ... музыка өте ұнайды. Мен бос уақытымда Моцарт пен Құрманғазының шығармаларын ... . Нұрғиса Тілендиев – ұлы қазақ ... . Маған скрипканың дауысы ... . (қажетті сөздер де беріледі).

В деңгейі мақсаты – өз ойын жүйелі жеткізу, себеп-салда байланысын құрау (себебі, өйткені), шағын сипаттама мәтіндерін жазу. Айтылым бойынша сұрақтар желісіне сүйене отырып, «Классикалық музыканың адамға әсері» тақырыбына 4-5 сөйлемнен монолог дайындау. Бағыттаушы сұрақтар беріледі. Жазылым бойынша – сипаттама хат жазу. Тапсырма: Досыңа «Мен классикалық музыка концертінде болдым» деген тақырыпта хат немесе хабарлама (50 сөз шамасында) жазу, сөз тіркестері беріледі.

С деңгейі жоғары деңгей болғандықтан, салыстыру, талдау, эссе, дискуссиялық мәтіндер жаза алады. Айтылым – пікірталас алаңы әдісін қолдана отырып, «Классика және заманау музыка» тақырыбында сыныптастар екі топқа бөлініп, өз позициясын дәлелдейді. Попс-формуласы қолданылады: менің ойымша..., өйткені..., Мен оны мына мысалдармен дәлелдей аламын... Жазылым – эссе-талдау. Тапсырма: «Классикалық музыка – мәңгілік құндылық» тақырыбында аргументтік эссе жазу (80 сөз шамасында). Эссе құрылымына қойылатын талаптар беріледі.

Қазіргі таңда дамыта оқыту мен деңгейлеп-саралап оқыту педагогика ғылымындағы озық технологиялар қатарына жатады. 1998 жылдан бастап профессор Ж.А. Қараевтың деңгейлеп-саралап оқыту технологиясы Қазақстан мектептерінің барлық сатысына енгізіліп, оқу үрдісін жандандыруға айтарлықтай үлес қосты. Бұл технологияда бірінші орында оқушының жеке таным белсенділігі мен шығармашылық ізденісі тұрғызылып, оқушыға өз мүмкіндігіне сай білім алуына жағдай жасалады. Осы тұрғыдан алғанда, оқу процесін деңгейлеп ұйымдастыру оқушының қабілеттілігі мен даму мүмкіндіктерін толыққанды дамытуға мүмкіндік беретін қажетті әдістеме ретінде қарастырылады.

Талқылау

Жалпы сынып оқушыларының жауабына қарай диагностикалық жұмыс жүргізіледі. Баланың бастапқы білім деңгейін анықтап алу. Жеке ерекшеліктеріне, әр оқушының қабілеті мен оқу мүмкіндігін, жауап беру деңгейі мен тапқырлығы ескерілу керек. Барлығын анықтап осал тұсы мен артықшылықтарымен жұмыс жүргізу маңызды. Деңгейге бөлу критерийлері оқушылардың жеке ерекшеліктерін ескере отырып, олардың қабілеттерін толық ашуға көмектеседі. Оқыту үдерісін тиімді ұйымдастырып, әр оқушының білім алу сапасын арттыруға ықпал етеді. Деңгейлеп оқыту – қазақ тілі пәнін оқытуда тиімді әрі инновациялық тәсіл. Бұл әдіс әр оқушының жеке ерекшеліктерін ескеріп, олардың білім алу үдерісін жеңілдетуге мүмкіндік береді. Әсіресе, 7-сынып оқушылары үшін сабақтарды осылай ұйымдастыру олардың қазақ тілін игеру қабілеттерін арттырып, қызығушылықтарын күшейтеді.

Қазақ тілінен басқа тілде оқытатын жалпы білім беретін мектептің сыныптарына арналған деңгейлеп оқыту әдістемесі – оқушылардың білім алу процесін тиімді ұйымдастыруға бағытталған маңызды құрал. Оқушылардың әртүрлі деңгейдегі қабілеттеріне, дайындықтарына және қызығушылықтарына сәйкес оқу процесін дифференциациялауға мүмкіндік береді. Әдістеме оқушылардың тілдік дағдыларын дамытып, олардың жеке қажеттіліктеріне бейімделген тапсырмалар арқылы оқыту сапасын арттыруды көздейді. Әдістемені қолданудың артықшылығы – оқушылардың жеке қажеттіліктеріне бағытталған оқу үдерісін ұйымдастыруда. Бұл орайда, мұғалімдер әрбір оқушының деңгейіне сәйкес тапсырмаларды ұсына отырып, олардың оқу процесіндегі белсенділігін арттырады. Нәтижесінде, оқушылардың өздік жұмыс дағдылары мен білімге деген қызығушылығы артып, оқу сапасы жоғарылайды.

Қорытынды

Сонымен, деңгейлеп оқыту әдісін қолдану мұғалімдерге әрбір оқушының мүмкіндіктерін ескере отырып, тапсырмаларды әдіс-тәсілдер арқылы жоспарлауға мүмкіндік береді. Бұл оқушыларға өздеріне ыңғайлы қарқынмен білім алуына жағдай жасайды, оларды өздеріне сенімді әрі жауапты етіп тәрбиелейді. Қазақ тілін басқа тілде оқытатын мектептерде осы әдістемені тиімді қолдану оқу сапасын арттырып, оқушылардың тілдік дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді. Бұл әдіс оқу үдерісінде оқушылардың белсенділігін арттырып, олардың өздігінен жұмыс істеу қабілетін нығайтады. Сонымен қатар, деңгейлеп оқыту әдісі оқушылардың шығармашылық әлеуетін ашып, олардың оқуға деген ынтасын көтереді.

Жалпы алғанда, деңгейлеп оқыту әдістемесінің тиімділігі оқушылардың жеке ерекшеліктеріне бейімделгендігінде, әрі оқыту барысында өзіндік даму мүмкіндіктерін ұсынатындығында жатыр. Осы әдісті жүйелі түрде қолдану білім беру сапасын арттыруға және болашақта оқушылардың өздеріне сенімді әрі білімді азамат болып қалыптасуына ықпал етеді. Бұл тақырыптың өзектілігі де қазіргі кезде білім беру жүйесінде оқушылардың жеке мүмкіндіктерін ескеру қажеттілігімен байланысты. Әсіресе, көптілді мектептерде әртүрлі деңгейдегі оқушылардың білім алу ерекшеліктерін ескеру, оларды өз деңгейінде оқыту маңызды мәселелердің бірі болып отыр. Деңгейлеп оқыту әдістемесі білім беруде тиімді нәтижеге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Қорыта келгенде, деңгейлеп оқыту әдістемесі білім беру саласындағы жаңашылдықтар мен өзекті мәселелерге жауап ретінде ұсынылған тиімді тәсіл. Бұл әдіс оқушылардың шығармашылық әлеуетін ашуға, өздігінен жұмыс істеуге дағдыландыруға және оқушыларды жоғары деңгейде біліммен қамтамасыз етуге бағытталған. Оны

қолдану білім беру сапасын арттыруға, оқушылардың тілдік және жалпы білімдік деңгейін көтеруге ықпал етеді.

Әдебиет:

1. Аубакирова Б.К. Қазақ тілін меңгеруде деңгейлеп-саралап оқыту технологиясының рөлі // Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті Хабаршысы. Филология сериясы. – 2023. – №1. – 76–89 бб.
2. Аннемике С. Мейл-Якобсе, Анна Мейер, Мишель Хелмс-Лоренц, Ридван Маулана // Дифференцированное обучение в среднем образовании: систематический обзор результатов исследований. https://www.frontiersin.org/journals/psychology. - 1-23 стр. Volume 10 - 2019. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02366
3. Ам М.А., Хади С., Ретнавати. Влияет ли дифференцированное обучение на результаты обучения? Систематический обзор и метаанализ // Журнал педагогический исследований. - №7 (5), 2023. DOI: https://doi.org/10.33902/JPR.202322021
4. Кулжаева Б.Ж. Дифференциалды оқыту. Қазақ тілі. - Астана: Педагогикалық шеберлік орталығы, 2023. – 198 б.
5. Tomlinson C.A. Differentiated Classroom: Responding to the Needs of All Learners. - Alexandria, VA: ASCD, 2014.
6. Мұратбек Б.Қ., Жұбанышева Қ.Ш. Тілді деңгейлік оқыту жүйесінің ғылыми негіздері // «Филологиялық зерттеулердің дамуы және білім беру мәселелері» тақырыбындағы халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдарынан. - № 8, 2025.
7. Наурызбаева Р. Бастауыш мектепте халықтық тәлім-тәрбие берудің шығармашылық жолдары. – - Алматы: Білім, 2006. - 12 б.
8. Жекимбаева Б.А., Гранкина А.К. Особенности применения дифференцированного подхода в обучении младших школьников // Молодой ученый. - 2023. - №49 (496). - С.137-139. https://moluch.ru/archive/496/108794
9. Оразбаева Ф.Ш., Дәулетбекова Ж.Т., Рахметова Р.С., Рауандина А.Қ., Мукеева Б.Қ. Қазақ тілі мен әдебиеті: Бәйшешек. Оқулық: Қазақ тілінен басқа тілде оқытатын 11 жылдық жалпы білім беретін мектептің 7-сыныбына арналған. 1 бөлім. - Алматы: Көкжиек-Горизонт, 2025. – 152 б.
10. Деңгейлеп-саралап оқыту технологиясы [Электронды ресурс] // Educational Index. – 2023. – URL: https://eduindex.kz/science-articles/778-degejlep-saralap-oytutehnologijasy.html.
11. Hilary Dack, Carol Ann Tomlinson. Preparing Novice Teachers to Differentiate Instruction: Implications of a Longitudinal Study// Journal Article, 2024-02-20. DOI: https://doi.org/10.1177/00224871241232419
12. Abdullaeva Shakhlo Sayfievna. The techniques of teaching vocabulary in the classroom // Journal Website: https://theusajournals.com/index.php/ajps. 17.06.2023. - 73-80 p. DOI: https://doi.org/10.37547/ajps/Volume03Issue06-11

References:

1. Aubakirova B.K. The role of level-differentiated teaching technology in learning the Kazakh language // Sh. Ualikhanov Kokshetau University Herald. Philology series. – 2023. – No. 1. pp. –76–89.
2. Annemieke E. Meil-Jacobse, Anna Meyer, Michelle Helms-Lorenz, Ridwan Maulana // Differentiated learning in secondary education: a systematic review of research results. https://www.frontiersin.org/journals/psychology. -1-23 pp. Volume 10 – 2019. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02366
3. Am M.A., Hadi S., Retnavati. Does differentiated instruction affect learning outcomes? Systematic review and metaanalysis // Journal of pedagogical studies. - №7 (5), 2023. DOI: https://doi.org/10.33902/JPR.202322021
4. Kulzhaeva B.Zh. Differentials oqytu. Kazak tili. - Astana: Pedagogical Sheberlik Ortalygy, 2023. – 198 p.
5. Tomlinson C.A. Differentiated Classroom: Responding to the Needs of All Learners. - Alexandria, VA: ASCD, 2014.

6. Muratbek B.K., Zhubanysheva K.Sh. Scientific foundations of the level language teaching system // From the materials of the international scientific-practical conference on the topic "Development of philological research and problems of education". - No. 8, 2025.
7. Nauryzbaeva R. Creative ways of folk education in primary school. - Almaty: Education, 2006. - 12 p.
8. Zhekimbaeva B.A., Grankina A.K. Features of using a differentiated approach in teaching younger schoolchildren / Young scientist. 2023. No. 49 (496). –P.137-139. https://moluch.ru/archive/496/108794
9. Orazbaeva F.Sh., Dauletbekova Zh.T., Rakhmetova R.S., Rauandina A.K., Mukeeva B.K. Kazakh teli men adebieti: Most. Okulyk: Kazak thick baska tilde okytatyn 11 zhildyk zalpy bilim beretin mekteptin 7-son arnalgan. 1 more. - Almaty: Kokzhiek-Horizont, 2025. – 152 p.
10. Level-differentiated learning technology [Electronic resource] // Educational Index. – 2023. – URL: https://eduindex.kz/science-articles/778-degejlep-saralap-oytutehnologijasy.html.
11. Hilary Dack, Carol Ann Tomlinson. Preparing Novice Teachers to Differentiate Instruction: Implications of a Longitudinal Study // Journal Article, 2024-02-20. DOI: https://doi.org/10.1177/00224871241232419
12. Abdullaeva Shakhlo Sayfievna. The techniques of teaching vocabulary in the classroom // Journal Website: https://theusajournals.com/index.php/ajps. 17.06.2023. - 73-80 p. DOI: https://doi.org/10.37547/ajps/Volume03Issue06-11

Information about the authors

M.T. Esmatova – corresponding author, candidate of Philology, associate professor, Department of Kazakh language and literature, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petrolpavlovsk, Kazakhstan; e-mail: esmatova@mail.ru; ORCID: 0000-0002-5470-9117;
M.S. Zeilova – teacher of Kazakh Language and Literature. She works at Secondary School 49, Kyzylorda, Kazakhstan; e-mail: meruertzejlova@gmail.com.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-172-190
УДК 372.881.111.1
МРНТИ 14.25.09

ОРГАНИЗАЦИЯ КРИТЕРИАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ НА УРОКАХ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА В ШКОЛЕ В АСПЕКТЕ САМОРЕГУЛИРУЕМОГО ОЦЕНИВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Мурзалинова А.Ж.[1*], Енсегенова Г.Ж.[1], Сытникова Н.А.[2], Степаненко Т.С.[3]
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[2]КГУ «Вагулинская средняя школа», Кызылжарский район СКО, Казахстан
[3]КГУ «Средняя школа-комплекс национального возрождения №17», Петропавловск, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: sevenmodules@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассматривается решение проблемы оценивания посредством аутентичной интеграции техник интерактивного оценивания в процессы школьного преподавания - обучения (на примере уроков английского языка). Содержание статьи основано на материалах и результатах прикладного исследования в 2-х школах Северо-Казахстанской области, связанного с экспериментальной апробацией разработанных рамок критериального оценивания чтения, слушания, говорения, письма в условиях самоорганизации и самоуправления деятельностью оценивания. Материалы и результаты получили концептуальное осмысление с позиций педагогики и лингводидактики преподавателей Северо-Казахстанского университета им. М.Козыбаева. Оригинальность содержания статьи обусловлена опорой на когнитивное развитие обучающихся и расширением ресурсов и механизмов критериального оценивания, востребованных вызовами обновленного содержания казахстанского образования. Полученные результаты исследования связаны с эффективной организацией критериального оценивания как целостного процесса в обучении английскому языку, способствующего саморегуляции в обучении, получению позитивных эмоций (академической жизнерадостности и удовольствия от освоения иностранного языка), персонализации обучения. Данные результаты имеют практическую значимость для школьных учителей, преподавателей вуза (в аспекте подготовки будущих педагогов к критериальному оцениванию), методистов и экспертов образования.

Ключевые слова: критериальное оценивание, самооценивание, техники оценивания, рамка оценивания, когнитивный аспект, организация деятельности, управление деятельностью, обратная связь.

МЕКТЕПТЕГІ АҒЫЛШЫН ТІЛІ САБАҚТАРЫНДА ОҚУШЫЛАРДЫҢ ӨЗІН-ӨЗІ РЕТТЕЙТІН БАҒАЛАУЫ АСПЕКТІСІНДЕ КРИТЕРИАЛДЫ БАҒАЛАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУ

Мурзалинова А.Ж.[1*], Енсегенова Г.Ж.[1], Сытникова Н.А.[2], Степаненко Т.С.[3]
[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[2]«Вагулино орта мектебі» КММ, Қызылжыр ауданы СҚО, Қазақстан
[3]«№17 ұлттық өркендеу орта мектеп-кешені» КММ, Петропавл, Қазақстан
[*]Хат-хабар үшін автор: sevenmodules@gmail.com

Аңдатпа

Бұл мақалада мектептегі оқыту үдерістеріне интерактивті бағалау әдістерін аутентті интеграциялау арқылы бағалау мәселесін шешу қарастырылады (ағылшын тілі сабақтары мысалында). Мақаланың

мазмұны бағалау қызметін өзін-өзі ұйымдастыру және өзін-өзі басқару жағдайында оқу, тыңдалым, айтылым және жазылымды критериалды бағалаудың әзірленген шеңберін эксперименттік апробациялауға байланысты Солтүстік Қазақстан облысындағы екі мектепте жүргізілген қолданбалы зерттеудің материалдары мен нәтижелеріне негізделген. Материалдар мен нәтижелер М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті оқытушылары тарапынан педагогика және лингводидактика тұрғысынан концептуалды тұрғыда пайымдалды. Мақала мазмұнының бірегейлігі білім алушылардың когнитивтік дамуына бағдарлануымен және Қазақстандағы білім берудің жаңартылған мазмұнының сын-қатерлеріне сәйкес сұранысқа ие критериалды бағалаудың ресурстары мен тетіктерін кеңейтумен айқындалады. Зерттеу нәтижелері оқудағы өзін-өзі реттеуге, жағымды эмоциялардың қалыптасуына (академиялық өміршеңдік пен шет тілін үйренуден ләззат алуға) және оқытуды дараландыруға ықпал ететін ағылшын тілін оқытудағы тұтас үдеріс ретінде критериалды бағалауды тиімді ұйымдастырудың мүмкіндігін көрсетеді. Бұл нәтижелер мектеп мұғалімдері, жоғары оқу орны оқытушылары (болашақ педагогтерді критериалды бағалауға дайындау тұрғысынан), әдіскерлер мен білім беру сарапшылары үшін практикалық маңызға ие.

Кілт сөздер: критериалды бағалау, өзін-өзі бағалау, бағалау әдістері, бағалау шеңбері, когнитивтік аспект, қызметті ұйымдастыру, қызметті басқару, кері байланыс.

ORGANIZATION OF CRITERION-BASED ASSESSMENT IN SCHOOL ENGLISH LESSONS FROM THE PERSPECTIVE OF STUDENTS' SELF-REGULATED ASSESSMENT

A.Z. Murzalınova[1*], G.Z. Yensegenova[1], N.A. Sytnikova[2], T.S. Stepanenko[3]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[2]Vagulino Secondary school, Kyzylzhar region, North Kazakhstan, Kazakhstan
[3]School-complex of National Rebirth №17, Petropavlovsk, Kazakhstan
[*]Corresponding author: sevenmodules@gmail.com

Abstract

This article addresses the problem of assessment through the authentic integration of interactive assessment techniques into school teaching and learning processes, using English language lessons as an example. The article draws on the materials and findings of an applied study conducted in two schools in the North Kazakhstan Region, which involved the experimental piloting of a framework for criterion-referenced assessment of reading, listening, speaking, and writing under conditions of self-organization and self-management of assessment activities. The materials and findings were conceptually interpreted from the perspectives of pedagogy and language didactics by faculty members of Manash Kozybayev North Kazakhstan University. The originality of the article lies in its focus on learners' cognitive development and on expanding the resources and mechanisms of criterion-referenced assessment in response to the challenges posed by Kazakhstan's updated educational content. The research findings demonstrate the effectiveness of organizing criterion-referenced assessment as an integrated process in English language teaching that promotes self-regulation in learning, elicits positive emotions, including academic buoyancy and enjoyment of learning a foreign language, and supports personalized learning. The findings are of practical significance for school teachers, university lecturers, particularly in terms of preparing pre-service teachers for criterion-referenced assessment, as well as educational methodologists and education experts.

Keywords: criterion-referenced assessment, self-assessment, assessment techniques, assessment framework, cognitive aspect, activity organization, activity management, feedback.

Введение

Содержание образовательных реформ в школах Казахстана, стремительные темпы и масштабная глубина их внедрения свидетельствуют о дальнейшем развитии высококачественного и справедливого образования в аспекте глобализации и адаптации к мировым практикам.

Необходимость реформ обусловлена, наряду с государственной образовательной политикой, новой Конституцией Республики Казахстан [1]. Согласно ст. 33, «Государство устанавливает общеобязательные стандарты образования. Деятельность всех учебных заведений должна соответствовать этим стандартам» (п. 4)». В свою очередь, Государственный общеобязательный стандарт основного среднего образования (*далее - ГОСО*) регламентирует оценивание как «процесс соотнесения достигнутых обучающимися результатов обучения с ожидаемыми результатами на основе разработанных критериев», выделяя формативное и суммативное оценивание в соответствии с критериями [2].

Объективную сложность процедур оценивания и недостаточную практико-ориентированную разработанность темы исследования отражают изменения в системе оценивания на 2026-2027 учебный год: постепенный отказ от суммативного оценивания в начальном образовании при временном сохранении действующей системы в основном и общем среднем образовании.

Итак, проблема оценивания результатов обучения школьников остается одной из актуальных в мировой теории и практике. Наш научный интерес вызывают следующие концептуальные положения, составляющие методологическую основу исследования:

- каждый этап оценивания: выявление, интерпретация, обратная связь и действие - должен быть согласован с целями обучения, обеспечивая осмысленную интеграцию оценки в процесс обучения для достижения реального прогресса [3];

- материалы оценивания должны иметь критериальную валидность как соответствие реальным жизненным показателям (внешние критерии) для аутентичности прогноза достижений на основе оценивания [4];

- некогнитивные характеристики обучающихся и ожидания родителей тесно связаны с успеваемостью и качеством оценивания [5]; в рамках «аффективного поворота» при обучении иностранному языку эмоции, связанные с оцениванием достижений, предсказывают пять аспектов письменной речи на неродном языке: синтаксическую сложность, лексическую сложность, точность, беглость и связность [6];

- справедливость и равенство возможностей обучающихся - необходимые предпосылки качества оценивания [7].

Вместе с тем решение проблемы оценивания связано с ЦУР 4 «Обеспечение инклюзивного и справедливого качественного образования и содействие возможностям обучения на протяжении всей жизни для всех». Качество критериального оценивания должно быть мотивирующим и стимулировать активную учебно-познавательную деятельность обучающихся всех уровней образования. Надежная критериальная валидность оценивания, на наш взгляд, отвечает непрерывности образования.

Объектом исследования является система критериального оценивания (*далее - КО*) в школе, *предметом* - ресурсы и механизмы его эффективной организации при обучении иностранному (английскому) языку.

Согласно требованиям ГОСО РК, содержание учебного предмета предусматривает чёткие требования к КО, направленные на обеспечение объективности и прозрачности процесса оценки учебных достижений обучающихся [8]. Вместе с тем наличие противоречия подтверждают данные международных исследований:

- Cambridge Assessment (2020): 45% учеников испытывают трудности с восприятием балльных шкал и критериев, особенно в странах с традиционной пятибалльной системой, в том числе в Казахстане [9];

- PISA 2022: казахстанские школьники, отмечая прозрачность и понятность КО, подчеркивают ее формализм: система воспринимается как жёсткая, ориентированная на стандартные ответы, и не всегда учитывает творческие или нестандартные решения, реальные усилия обучающихся [10].

Решение исследуемой проблемы связываем с оптимизацией процесса КО посредством самооценивания - основы для развития навыков мышления высокого уровня, востребованных в самых разных областях социально-экономической жизни. Таким образом, *цель исследования* - проектирование эффективных инструментов КО с перспективами не только успешного формирования коммуникативно-языковых навыков и познавательных способностей учащихся, но и развития аналитических навыков высокого порядка. В круг *задач исследования* входит изучение методологических основ КО, анализ типологии форм КО и отбор наиболее целесообразных для использования в процессе обучения иностранному языку, экспериментальная апробация интерактивных стратегий оценивания, анализ условий сформированности осознанной работы обучающихся с критериями.

Цель КО - получение объективной информации о результатах обучения и предоставление ее всем участникам учебного процесса с целью его совершенствования [11].

Подчеркнем, что для нас принципиально развитие самого обучающегося посредством КО, что подтверждают имеющиеся исследования. Так, John Hattie отмечает: четкие и понятные критерии позволяют учащимся осознать, чего от них ожидают, и направляют их усилия на достижение конкретных целей. Такое оценивание способствует повышению успеваемости, т.к. обучающиеся получают ясное представление о сильных и слабых сторонах [12]. Paul Black и Dilan Wiliam, ведущие исследователи в области формативного оценивания, убеждены: КО должно быть интегрировано в ежедневную учебную практику. Эффективное использование критериев оценивания способствует активному вовлечению учащихся в процесс обучения, развитию их способности к самооценке и повышению ответственности за собственное обучение [13]. По мнению Б.Д. Ныгметовой, Н.С. Сарбасова, «внедрение критериального оценивания, в первую очередь, направлено на учащегося, который получает возможность лучше разбираться в достижении целей обучения, самостоятельно определять пути улучшения результатов обучения» [14, с.9].

Большое количество исследований и недостаточная степень разработанности четких и валидных критериев оценивания, а также их педагогически и психологически оправданного внедрения в практику образовательного процесса определяют актуальность темы настоящего исследования.

Практическим материалом для исследования послужили данные, полученные в процессе педагогической практики и экспериментальной апробации исследуемого материала в 2-х общеобразовательных школах (сельской и городской) Северо-Казахстанской области. Авторами из числа практикующих учителей проведен Action Research в этих школах, что позволило получить достоверные исследовательские данные, значимые для профессионального сообщества коллег.

Материалы и методы исследования

Термин «КО» начал использоваться в образовательной практике в конце 20-го века в контексте оценки компетенций обучающихся по заранее установленным критериям. В начале 21 века C. Harrison рассматривает КО в аспекте обучения, выделяя ключевые принципы и особенности данного подхода [15]. Обращает внимание работа Sadler, D.R.

«Formative Assessment and the Design of Instructional Systems», в которой уточняется методика КО: четкость, ясность и конкретность целей обучения для прозрачности оценивания их достижения, универсальность критериев, позволяющая применить их для всех участников, направленность КО на реальные знания и навыки и измерение реального прогресса [16]. D.J. Nicol в статье «Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice» уточняет ресурсы КО: формирует самооценку обучающегося, способствует его самоорганизации и лучшему пониманию учебного материала, тем самым улучшать образовательные достижения [17].

Внедрение КО требует развития оценочной компетентности педагогов, реализующих данный подход, а также применения аналитико-синтетического метода. Это обеспечивает детальную проработку каждого критерия для объективной и прозрачной оценки учебных достижений. Об изменении методических и когнитивных компетенций учителя в рамках современных реалий оценивания пишут D.J. Nicol и D. Macfarlane-Dick [17], анализирующие роль обратной связи в развитии когнитивной саморегуляции, а также John Hattie [12], подчеркивающий сдвиг роли педагога от «передатчика знаний» к «исследователю собственного обучения». Авторы Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева внесли свой вклад, обосновав особенности интегративного подхода к формированию оценочной грамотности будущего педагога в условиях внедрения КО. Их статья размещена в издании базы Scopus [18].

Как подтверждает наша практика, в контексте развития КО в школьном обучении особое внимание следует уделить организации процесса, учитывающей когнитивные особенности обучающихся. В конце 20 века активно исследовалась проблема соотношения языка с когнитивными процессами человека. Н.Н. Болдырев [19] и M. Tate [20], утверждали, что наиболее эффективное усвоение материала происходит тогда, когда информация представлена в структурированном виде, например, в виде таблиц, схем или графиков. В условиях КО важно не только объективно оценивать знания, но и учитывать, как учащиеся воспринимают и обрабатывают информацию, сопровождающую оценивание.

В.З. Демьянков отмечает: «В когнитивной психологии человек рассматривается как система переработки информации» [21, с. 17]. Это положение имеет непосредственное отношение к оценке учебных достижений: эффективное КО должно учитывать, как обучающиеся воспринимают и перерабатывают информацию, чтобы обучение соответствовало естественным познавательным процессам [22].

Методическое руководство по КО определяет его технологические признаки: позволяет не только фиксировать достижения, но и активно влиять на развитие когнитивных, метакогнитивных и социальных навыков; критерии группируются по уровням когнитивных навыков: «Знает и понимает» (базовые когнитивные процессы), «Применяет» (использование знаний на практике) и «Навыки высокого порядка» (анализирует, оценивает и создаёт), что требует критического и креативного мышления. Таким образом, интеграция когнитивных аспектов позволяет не только объективно оценивать результаты учеников, но и улучшать их восприятие и обработку информации, что делает обучение более продуктивным и осознанным [23].

Методологической основой исследования являются основные положения и принципы технологии КО в обучении иностранным языкам. Нами использованы методы теоретического анализа литературы, наблюдения, проектирования, эксперимента, анализа продуктов деятельности обучающихся.

В педагогическом эксперименте (2025-2026 учебный год) были задействованы 204 учащихся 8-х классов Вагулинской средней школы Кызылжарского района СКО и средней школы-комплекса национального возрождения №17 г. Петропавловска. Число экспериментальных классов с 93 обучающимися - 4 (1 - в Вагулинской СШ, 3 - в школе №17), контрольных классов с 111 обучающимися - 5 (1 - в Вагулинской СШ, 4 - в школе №17).

Экспериментальная выборка обусловлена: а) переходом в 8-м классе от базовых умений и навыков к более сложным академическим навыкам слушания, чтения, говорения, письма, согласно программе; б) 8-летней практикой изучения английского языка и наличием пробелов в грамматике и иноязычной практике; в) особенностями подросткового возраста, связанными с необходимостью понимания политики оценивания и точных критериев оценивания их учебных достижений; г) особенностями развития подростков в аспекте психолингвистики; так, группа данного возраста «находится в критическом периоде развития навыков письма на втором языке, обладая вместе с тем уникальными эмоциональными особенностями и когнитивными стратегиями, которые заслуживают дальнейшего изучения» [6, с. 556].

Систематизированная выборка типичных представителей генеральной совокупности характеризуется 100%-ным охватом учащихся 8-х классов 2-х школ. Нестратифицированный характер выборки связан с отсутствием разделения на классы по профилю обучения. Репрезентативность выборки обеспечена добровольным и мотивированным участием обучающихся и их родителей на основе предварительного информирования и согласия, достаточным разнообразием учащихся по уровню учебно-познавательной мотивации, успеваемости, эмоционального развития, интенсивностью исследуемого феномена, возможностью предоставить профессиональному сообществу данные, имеющие значение для улучшения образовательной практики.

Исследование проводилось в 3 этапа в течение 2025-2026 учебного года: *установочного* (определение сложностей, с которыми сталкиваются учитель и обучающиеся при использовании техник оценивания); *формирующего обучения* (применение в экспериментальных классах рубрикаторов, дескрипторов, чек-листов); *контрольного* (анализ экспериментальных данных).

Этап формирующего обучения – самый продолжительный (с сентября 2025 г. по май 2026 г.). В этот период было предложено работать с разными техниками КО, согласно *гипотезе исследования*: если целенаправленно, последовательно и аутентично интегрировать КО в преподавание – обучение, используя техники интерактивного КО, это способствует повышению эффективности обучения, т.к. валидированная объективная и прозрачная оценка учебных достижений становится ресурсом мотивированного продвижения в индивидуальной образовательной траектории, поддерживает устойчивый интерес к академическому прогрессу.

Таким образом, ожидаемым результатом КО становится **саморегулируемое оценивание обучающегося (Self-regulated assessment)** – способность самостоятельно отслеживать прогресс в обучении посредством сопоставления своей работы с четко заданными критериями и дескрипторами успешности, что позволяет ему управлять процессами контроля и анализа предметных знаний и сфокусироваться от внешней оценки учителя на внутреннем аудите.

Техники оценивания и оценочные рамки нами разработаны так, чтобы обучающиеся могли чётко понимать, какие элементы оцениваются и какие требования необходимо выполнить для достижения лучших результатов, что делает

образовательный процесс более целенаправленным и результативным. Результат каждого урока – проведение рефлексии с подведением итогов в виде самоанализа учащихся и комментариев учителя с опорой на рамку оценивания.

В качестве прогнозируемого показателя определено повышение уровня качества предметных знаний в +10-15%. Данный показатель может свидетельствовать об умеренной, но стабильной положительной динамике, доказывающей эффективность внедрения интерактивных техник КО с целью развития когнитивной саморегуляции и субъектности обучающихся. Таким образом, процессы преподавания – обучения – оценивания достаточно сбалансированы и интегрированы.

Для объективности исследования выделена контрольная группа учащихся, в которой экспериментальные техники КО не применялись, оценивание проводилось традиционными методами.

Экспериментальная апробация заключалась в применении 4-х разработанных нами рамок КО для работы с базовыми навыками при изучении английского языка: Reading, Listening, Speaking, Writing. Шаблоны рамок рекомендованы учебным пособием «English plus 8» [24]. Нами разработана система дескрипторов по каждому из критериев, учитывающая творческий формат преподавания/ обучения путем установления ассоциаций с предметами из жизни.

Приведем примеры экспериментального обучения.

Reading

Учитывая структуру учебника, прием КО использован в рамках работы с текстом *In the Public Eye*. Обучающимся предложено задание интенсивного чтения «*На основе прочитанного текста заполните Story Elements Organizer*». Нами была разработана следующая рамка, представленная в таблице 1.

Таблица 1. Рубрика КО навыка чтения

Критерий	3 балла (отлично)	2 балла (хорошо)	1 балл (удовлетворительно)
Понимание деталей текста	Точно выделяет ключевые факты и детали, понимает их связь с основной идеей	Выделяет основные факты, но не всегда видит их связь с общей идеей	Определяет лишь отдельные детали, упускает важные моменты
Определение смысловых связей	Уверенно выявляет логические связи между частями текста, правильно интерпретирует взаимосвязь идей	Видит основные связи в тексте, но не всегда точно их объясняет	Частично понимает смысловые связи, но делает ошибки в их интерпретации
Выявление авторской позиции	Четко определяет и объясняет точку зрения автора, подкрепляя выводы примерами из текста	В целом понимает авторскую позицию, но обоснование недостаточно полное	Частично понимает авторскую точку зрения, но делает ошибки или дает слабые аргументы
Использование текстовой лексики и терминов	Активно использует лексику текста и термины, применяет их правильно и уместно	Использует основные термины и лексику, но допускает незначительные ошибки	Использует лексику с ошибками, не всегда корректно употребляет термины

Для оценки работы обучающихся предложенная Рамка использована в игровой форме. В качестве визуального элемента представлен схематичный рисунок торта, каждый кусочек которого символизировал определенный критерий оценивания. После выполнения задания обучающиеся самостоятельно анализировали свою работу, выбирая те фрагменты, которые, по их мнению, наиболее точно отражали их уровень выполнения. В ходе совместного обсуждения с учителем проводилось итоговое оценивание, позволяющее скорректировать их представления о собственных достижениях и

развивать рефлексивно-аналитические и рефлексивно-оценочные навыки. Такой подход способствует формированию умений самооценки, анализируя не только конечный результат (следствие), но и процесс работы (причина), устанавливая причинно-следственные связи, значимые для развития самоорганизации и саморегуляции обучающихся.

Listening

Следуя структуре модуля, нами была создана оценочная рамка для мониторинга успешности выполнения заданий аудирования на основе интервью *Youth Sports Academy*. Для работы с аудио материалом была разработана следующая рамка, представленная в таблице 2.

Таблица 2. Рамка КО навыка аудирования

Критерий	3 балла (отлично)	2 балла (хорошо)	1 балл (удовлетворительно)
Понимание основной идеи	Точно формулирует главную мысль услышанного текста, передает ее своими словами без искажений	Определяет основную идею, но формулирует ее не полностью или допускает небольшие неточности	Частично понимает главную мысль, передает ее с ошибками или неполно
Понимание деталей	Выделяет ключевые факты и детали, точно воспроизводит важную информацию	Понимает большинство деталей, но может упустить или неверно интерпретировать некоторые из них	Определяет лишь отдельные детали, допускает значительные ошибки в интерпретации
Распознавание ключевой лексики	Уверенно понимает и использует ключевые слова и выражения, корректно их интерпретируя	Распознает основную лексику, но может допускать небольшие ошибки в понимании значений	Испытывает затруднения в распознавании ключевых слов, может неправильно понимать их значение
Понимание интонации и эмоций говорящего	Точно интерпретирует интонацию, эмоциональную окраску и намерение говорящего	В целом улавливает интонацию и эмоции, но некоторые нюансы могут ускользать	Испытывает трудности в восприятии интонации, плохо различает эмоциональные оттенки речи

Развитие навыков аудирования играет ключевую роль в изучении английского языка, но при этом является одним из самых сложных. Для того чтобы помочь отследить свой прогресс и понимать, над чем еще стоит поработать, обучающимся предложена работа с *Копилкой Успеха*. Был использован именной стакан-копилка и монеты разного цвета (вид задания) и номинала (уровень выполнения).

Данный прием является эффективным инструментом для наглядно-образной визуализации учебных достижений. Он помогает видеть не только итоговый результат, но и маршрут, который освоили обучающиеся, что способствует развитию мотивации и стремления к улучшению индивидуальной образовательной траектории. Для учителей такие копилки служат способом персонализированного подхода к обучению, помогая гибко корректировать методы преподавания – оценивания в зависимости от потребностей и возможностей каждого ученика.

Speaking

Оценивание устной речи – это сложный, но важный аспект обучения английскому языку, требующий от учителя высокого профессионализма и внимательного отношения к деталям, от обучающегося - языковой интуиции, речевого чутья, умения противостоять коммуникативно-речевым зажимам. Устная речь включает множество нюансов: произношение, интонацию, беглость, словарный запас, грамматику и коммуникативные навыки. Оценка этих аспектов часто носит субъективный характер, что затрудняет выставление объективной оценки. Еще одним значительным фактором является боязнь

обучающихся говорить на иностранном языке перед аудиторией. Этот стресс может негативно сказаться на их результатах, что затрудняет объективную оценку их реальных способностей.

Чтобы снизить субъективность и повысить точность оценивания, была разработана рамка, представленная в таблице 3.

Таблица 3. Рамка КО навыка говорения

Критерий	3 балла (отлично)	2 балла (хорошо)	1 балл (удовлетворительно)
Произношение и интонация	Четкое произношение, правильная интонация, акцент почти незаметен	Небольшие ошибки в произношении и интонации, не мешающие пониманию.	Частые ошибки в произношении и интонации, затрудняющие восприятие
Беглость и естественность речи	Речь плавная, без пауз и запинок	Небольшие паузы и запинки, но общая связность сохраняется	Частые паузы и запинки, мешающие пониманию.
Лексика и словарный запас	Широкий словарный запас, включающий изученную лексику и ключевые фразы	Используются изученные слова, но есть небольшие пропуски или повторения	Ограниченный словарный запас, редкое использование изученной лексики
Грамматическая точность	Используются изученные грамматические конструкции без ошибок	Незначительные ошибки, не влияющие на понимание	Много грамматических ошибок, затрудняющих восприятие
Коммуникативность и взаимодействие	Диалог звучит естественно, участники активно взаимодействуют	Взаимодействие есть, но не всегда выглядит естественно	Диалог звучит неестественно, слабое взаимодействие

Для наглядной демонстрации оценивания, ученики работали с карточками-индикаторами трёх цветов: зелёный (отлично), жёлтый (хорошо) и красный (удовлетворительно). После завершения работы с диалогами (составление, разыгрывание) обучающиеся по результатам самоанализа выбирали карточки, наиболее точно отражающие уровень выполнения задания. Такой подход способствует развитию навыков самооценки и рефлексии, позволяя обучающимся осознанно анализировать собственные сильные и слабые стороны. Дополнительно, с опорой на feedback учителя, обучающиеся получают возможность скорректировать своё понимание критериев и определить направления для дальнейшего развития. При таком виде работы учителям следует учитывать качество обратной связи, ее влияние на уверенность и мотивацию учеников. Обратная связь должна быть как можно более конструктивной. Комментарии, ориентированные на работу, а не на личность ученика, являются более эффективными как для обучения, так и для поддержания мотивации.

Writing

Заключительной формативной работой в модуле стало создание новостной статьи на тему «*What Makes a Sports Star: Natural Gift or Years of Practice?*». Для оценивания результатов письма нами разработана следующая рамка, представленная в таблице 4.

Таблица 4. Рамка КО навыка письма

Критерий	3 балла (отлично)	2 балла (хорошо)	1 балл (удовлетворительно)
Организация текста	Текст логично структурирован (введение, основная часть, заключение), плавные переходы	Текст в целом логичный, но переходы между частями нечеткие	Текст плохо структурирован, отсутствуют логические связи между частями
Лексическое наполнение	Использована разнообразная лексика, включая тематические слова и ключевые фразы	Присутствуют тематические слова, но с некоторыми повторами или неточностями	Лексика ограничена, мало тематических слов, частые повторения и ошибки
Грамматическая точность	Предложения построены правильно, использованы изученные грамматические структуры	Некоторые грамматические ошибки, не искажающие общий смысл текста	Много грамматических ошибок, затрудняющих понимание текста
Орфография и пунктуация	Отсутствие орфографических и пунктуационных ошибок	Небольшие ошибки в орфографии и пунктуации, не влияющие на понимание	Много орфографических и пунктуационных ошибок, затрудняющих восприятие

Рамка была представлена обучающимся в виде двустороннего листа. Первая половина листа – рабочее поле, вторая половина – критерии оценивания. Предварительное ознакомление с критериями делает выполнение задания более целенаправленным и эффективным. Ученик с самого начала понимает требования, что уменьшает неопределённость и позволяет сосредоточиться на важных аспектах, таких как структура текста, лексика и грамматическая точность. Кроме того, это способствует улучшению качества работ, так как ученик может сразу ориентироваться на высокие стандарты. Также снижает количество типичных ошибок и позволяет более глубоко проработать содержание написанного текста.

Результаты

Представим результаты *установочного этапа*. Обучающиеся проявляли низкий уровень мотивации в использовании стандартных форм оценивания. В ходе стартового урока обучающиеся в обычном для себя ритме работали с программным материалом. В каждом классе работа выстраивалась по-разному, чтобы более точно определить, какие именно «инструменты» оказываются наиболее эффективными при оценке результатов учебной деятельности учащихся. На следующем уроке необходимо было провести формативное оценивание с последующим анализом его результатов. Первый этап эксперимента показал, что средний балл составил 4–6, что соответствует уровню «3» (при максимуме в 10 баллов: 1–3 балла — низкий уровень, 4–7 – средний, 8–10 – высокий). В контрольных классах показатели оставались на том же уровне, что подтвердило ограниченную эффективность традиционных методов оценивания и необходимость поиска более действенных инструментов.

На *этапе формирующего обучения* наблюдали отношение восьмиклассников к оцениванию как к интерактивно-рефлексивной форме работы, вовлеченность и сосредоточенность обучающихся в работы с критериями и дескрипторами. Такая работа способствовала развитию навыков само- и взаимооценивания.

Перейдем к результатам *контрольного этапа*. Показатели качества предметных знаний в контрольной группе имели положительную динамику, однако их уровень оказался ниже, чем в экспериментальных классах. Средний прирост баллов формативного оценивания в контрольных классах составил около +5%, что подтверждает ограниченную эффективность традиционных методов обучения -

оценивания и подчёркивает значимость внедрения интерактивных инструментов оценивания для повышения мотивации и качества предметных знаний учащихся.

На рисунке 1 представим наглядно результаты контрольного этапа.

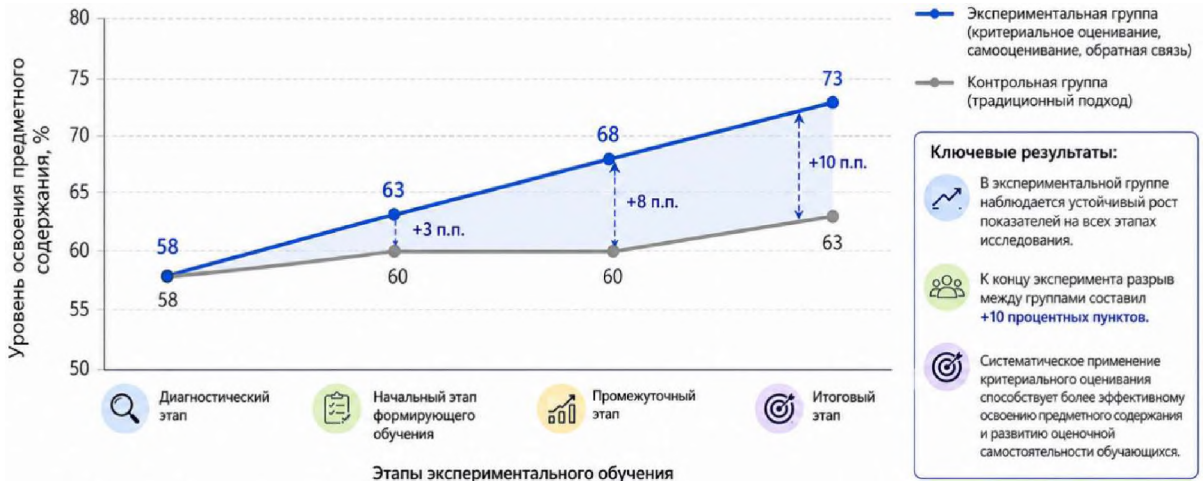


Рисунок 1. Динамика освоения предметного содержания в условиях систематического применения КО (контрольная и экспериментальная группы)

Полученные в ходе экспериментальной работы данные полностью подтвердили выдвинутую гипотезу исследования. Сравнительный анализ показателей продемонстрировал, что динамика повышения качества освоения предметного содержания в экспериментальных классах составила 15%, что существенно превосходит аналогичные результаты контрольных групп (см. рис. 1). Наряду с этим зафиксировано возрастание познавательного интереса обучающихся к учебному предмету, что иллюстрируют данные диагностики интереса и вовлеченности учащихся контрольного и экспериментального классов в выполнение заданий для формативного оценивания. Для диагностики нами использована классическая симметричная шкала Лайкерта, в которой каждый из учащихся сделал свой выбор одного из проранжированных (в баллах) утверждений:

- *Мне всегда интересно выполнять задания, я выполняю их с удовольствием.* - 5 баллов;
- *Обычно мне интересно выполнять задания, которые я с желанием выполняю.* - 4 балла;
- *Иногда интересно выполнять задания, иногда нет. Затрудняюсь ответить.* - 3 балла;
- *Редко задания бывают интересными, не всегда мне нравится их выполнять.* - 2 балла;
- *Задания совсем не интересны, мне не нравится их выполнять.* - 1 балл.

Результаты диагностики представлены на рисунке 2.

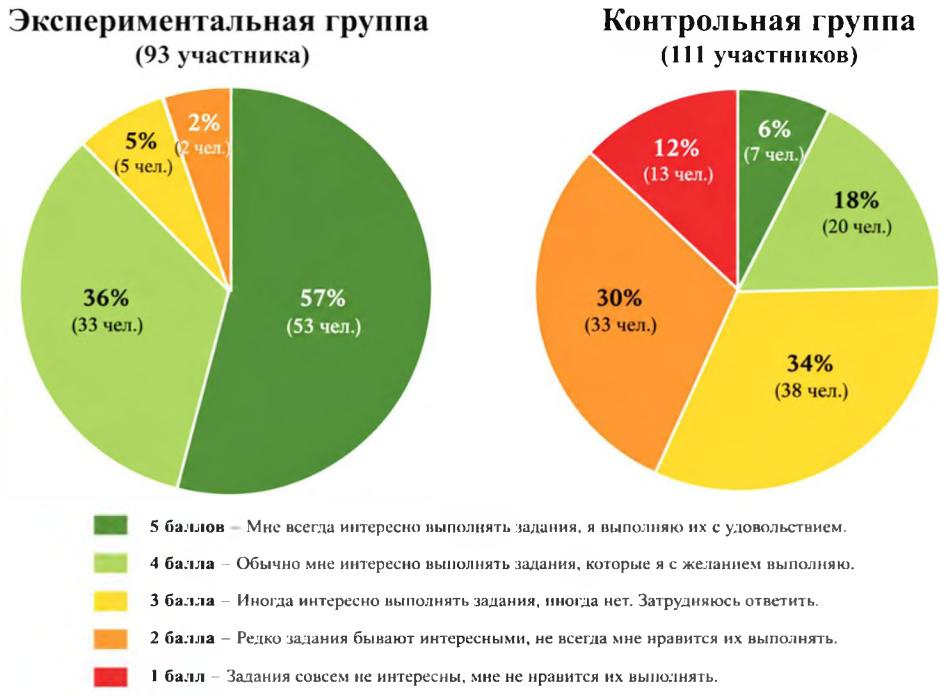


Рисунок 2. Данные диагностики интереса и вовлеченности учащихся контрольного и экспериментального классов в выполнение заданий для формативного оценивания.

Подтверждение гипотезы верифицируется также динамикой взаимодействия в парной и групповой работе учащихся экспериментального и контрольного классов в условиях формативного оценивания совместно выполненных заданий, что отражает диагностика трех групп критериев:

- *мотивационный критерий*: наблюдаемые в поведении интерес к совместному формативному оцениванию, ответственность за выполнение своей работы и объективное оценивание работы одноклассников, академическая свобода в высказывании своего мнения относительно применяемых дескрипторов, направленность на достижение высоких показателей совместной работы по дескрипторам;

- *когнитивный критерий*: опора на понимание цели объективного формативного оценивания как инструмента улучшения результатов, знание и применение критериев и дескрипторов оценивания к собственной работе и работе одноклассников, анализ продуктов деятельности (собственного и одноклассников) посредством комплекса дескрипторов, рефлексивное выявление пробелов по результатам оценивания и способов работы с ними;

- *поведенческий критерий*: умение аргументировать свою позицию оценивания на основе критериев и дескрипторов, соблюдение этики оценивания без перехода на личность, умение принимать другую точку зрения, используя дескрипторы как объективный арбитр.

Для фиксации результатов педагогического наблюдения нами использована оценочно-уровневая шкала регулярности и устойчивости проявлений исследуемого взаимодействия, включающая в себя установленные рамки шкалирования. В ходе педагогического наблюдения велся протокол наблюдения, куда заносились данные по каждому обучающемуся в соответствии со шкалой регулярности и устойчивости

проявлений: а) постоянно и устойчиво, б) часто и близко к устойчивости, в) не всегда и не вполне устойчиво, г) эпизодически и неустойчиво, д) единично и неустойчиво.

Результаты диагностики представлены на рисунке 3.

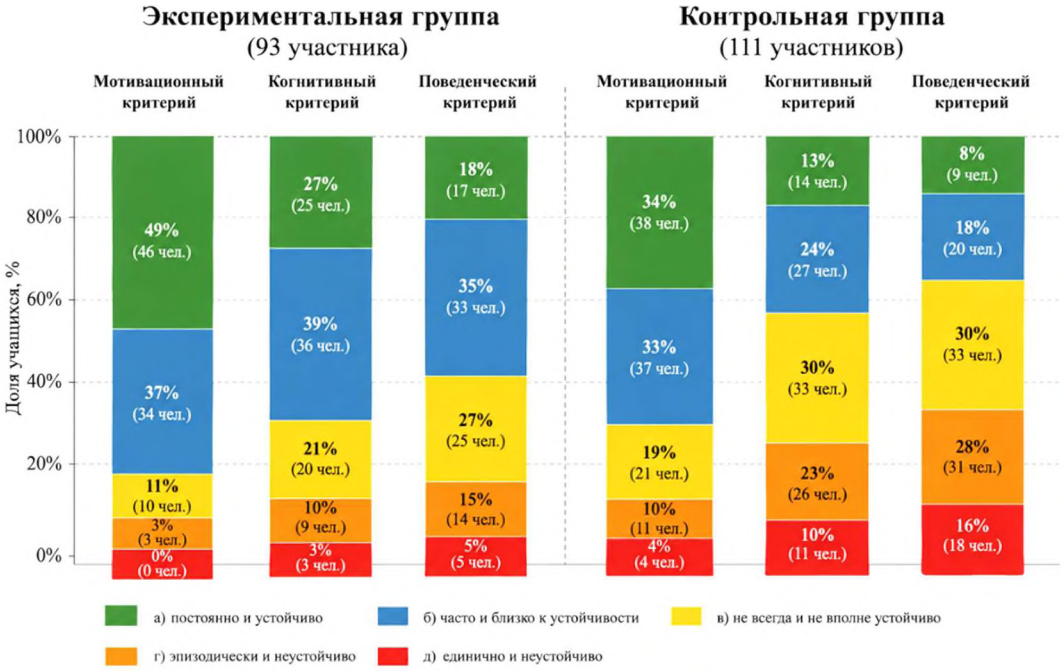


Рисунок 3. Данные диагностики взаимодействия в парной и групповой работе по формативному оцениванию совместно выполненной работы

Таким образом, рисунки 1-3 наглядно подтверждают гипотезу исследования и свидетельствуют об устойчивом качестве выполнения заданий формативного оценивания.

Обсуждение

Основным показателем эффективности использования интерактивных техник КО, встроенных в непосредственное взаимодействие субъектов образовательного процесса, является положительная динамика улучшения предметных знаний учащихся экспериментальных классов. Данная связь подтверждает концептуальный вывод по результатам исследования об изучении английского языка как иностранного в школах Китая – о потенциале оценивания как стратегии улучшения результатов языкового образования [3], а также о создании культуры, в которой оценивание поддерживает обучение, а не измеряет его [13, с. 7].

Положительная динамика качества предметных знаний по английскому языку (прирост на 15%) обусловлена внедрением техник критериального оценивания. Четкие дескрипторы и рубрикаторы позволили сделать процесс обучения прозрачным для обучающихся и учителя, снизили уровень стресса и перевели фокус с получения оценки на развитие конкретных речевых и языковых компетенций. Регулярная обратная связь и практика самооценивания помогли обучающимся точечно работать над своими слабыми сторонами (лексика, грамматическая точность, связность текста), что привело к росту академических результатов. John Elwood Romig at al. (США), используя понятие «скрининг на предмет академического риска», называют соответствующую стратегию –

мониторинг прогресса с помощью оценивания для корректировки обучения с целью улучшения результатов учащихся [4].

Так, аналитический навык высокого порядка – оценивание на основе анализа и синтеза – характеризуется как:

- перенос акцентов от «что» к «как» и «почему»: обучающиеся в своих суждениях на основе известных заранее критериев и дескрипторов критически анализировали продукты деятельности (своей и одноклассников), аргументировали сильные стороны и пробелы, обосновывали свои выводы по улучшению прогресса; причинно-следственное обоснование продуктов деятельности позволило обучающимся дифференцировать «случайные эффекты» (в терминологии исследователей Пекинского педагогического университета [5] и ожидаемые результаты качества работы;

- содержательная обратная связь, основанная на точных качественно-количественных измерителях уровня предметных знаний; в обратной связи учитель и обучающиеся фокусировались на трех вопросах: Куда я иду? Как я иду? Куда дальше? - отвечающих стратегиям оценивания Black & Wiliam [13, с. 10]; обучающиеся, получая и (или) формируя точечную обратную связь, исправляли именно те ошибки, которые очевидно снижали качество работы, что позволило со временем ликвидировать системные пробелы в знаниях; таким образом, обратная связь, которая «может быть определена с точки зрения ее эффекта, а не информационного содержания», выполняла «функцию управления системой» и «была предназначена для двух основных аудиторий: учитея и ученика» [16, с. 120];

- академическая свобода и успешность, сочетаемая с ответственностью в условиях геймификации обучения; обучающиеся предварительно (перед сдачей учителю) проверяли работы, в том числе peer-assessment, по рубрикаторам, чек-листам, что снижало языковой барьер и боязнь субъективной оценки учителя; в свою очередь, академическая уверенность в себе и высокие ожидания зависят во многом от объективности и справедливости оценивания [5];

- инструмент индивидуализации и дифференциации обучения, когда следование обучающихся и учителя прозрачным критериям и дескрипторам уточняет сильные стороны и зоны западания и позволяет корректировать преподавание – обучение в соответствии с ними; более того, предлагаемая нами организация КО, встроенного в преподавание – обучение, реализует равенство обучающего и обучающихся в аспекте качественного и справедливого образования, концепция которого предложена Fernando Martínez-Abad et al. (Испания) [7].

Данные результаты подтверждают значимость фактора самооценки обучающимся собственной успеваемости как способности точно прогнозировать свои достижения и сопоставлять результаты с понятными критериями успеха [12, с. 139]. Данный фактор J. Hattie рассматривает в топ-5, влияющих на эффективность обучения (с размером эффекта d=1.44), делающих обучение видимым (visible learning), когда предлагаемые рамочные формы КО помогают мыслительным процессам обучающихся, видимым не только для учителя, но и для самих учащихся.

Улучшение предметных знаний обучающихся стало возможным, благодаря саморегулируемому оцениванию и формированию саморегулирующихся учащихся, характеризуемых Nicol & Macfarlane-Dick как «активных создателей собственного процесса познания» [17, с. 201].

Данный показатель проявился в:

- изучении обучающимися критериев в органичной связи с дескрипторами как одновременно навигатора ожидаемого результата и инструмента качества ожидаемого результата;
- мониторинге действий обучающихся путем их сопоставления с рамочными показателями КО;
- рефлексии обучающихся по реализации показателей КО в направлении уровня качества продукта деятельности;
- проектировании собственных рекомендаций для улучшения деятельности.

Таким образом, КО способствует формированию другого навыка высокого порядка «учись учиться» (meta-cognition), что рассматриваем как ресурс непрерывного образования.

Перспективы исследования связываем с диагностикой эмоций обучающихся – эмоциональных реакций, испытываемых обучающимися во время учебной деятельности, связанной с КО. В данном направлении интересно исследование Jianhua Zhang (факультет иностранных языков Сычуаньского университета искусств и наук), в котором обосновывается многомерный подход к изучению влияния эмоций, связанных с достижениями, на результаты письменной речи на втором языке у старшеклассников [6]. Кроме того, учитывая распространение техник КО на уроках английского языка в 9-11 классах, считаем востребованной практикой применение цифровых платформ, которые делают оценивание еще более интерактивным и доступным [13].

Заключение

В данной статье рассматриваются результаты прикладного исследования, таргетированного на разработку эффективных техник КО на уроках иностранного языка.

Использование КО на уроках английского языка стало мощным инструментом развития рефлексивных и аналитических навыков учащихся, способствуя формированию осознанного подхода к обучению, управления его организацией. Чёткие и прозрачные критерии оценки стимулируют обучающихся к самоанализу и объективной оценке результатов своей работы и учебных достижений, что, в свою очередь, повышает уровень мотивации и способствует более глубокому усвоению языкового материала. Вариативные техники критериального оценивания развивают навыки аргументированного само- и взаимооценивания, учат объективно анализировать свои достижения, формулировать конструктивные выводы и определять пути дальнейшего совершенствования.

По результатам проведенного исследования сформулируем ключевые выводы в аспекте ресурсности и механизмов КО.

1. Саморегулируемое обучение становится фактором учебных достижений обучающихся, если оно сопровождается управлением обучающимися процессами само- и взаимооценивания. Так, если оценивание отражает наблюдаемые и достигнутые результаты обучения, то мотивированное обучение отражает психологические процессы, поддерживающие вовлеченность, настойчивость и усилия. Интеграция этих процессов позволяет улучшить развивающую образовательную среду в направлении синергии преподавания - обучения - оценивания.

2. Управление обучающимся оцениванием собственных академических достижений стимулируют академическую жизнерадостность в изучении иностранного языка (foreign language academic buoyancy /FLAB) как способность справляться с повседневными трудностями, встречающимися в учебной среде, и положительно влиять

на убеждения и поведение обучающихся, удовольствие от изучения иностранного языка (foreign language enjoyment /FLE) и академическую успеваемость в целом. Данный вывод коррелирует с концепцией китайских исследователей [25].

3. Само- и взаимооценивание с четкими и валидными критериями представляют собой целостный процесс, помогающий обучающимся определять свои уникальные и индивидуальные пути к достижению успеха. Ресурсами КО становится возможность наблюдать, практиковать, отслеживать, оценивать и корректировать свои собственные действия. Управляемое посредством критериев оценивание повышает устойчивость обучающихся к изучению иностранного языка, регулирует тревожность, связанную с иностранным языком, способствует развитию автономии и укрепляет социальные связи. Наиболее важно то, что КО способствует формированию глубокого чувства индивидуальности и внутреннего осознания собственной ценности.

4. Обратная связь учителя в процедурах КО расширяет свой контекст: это уже не столько информация, предоставляемая учителем относительно аспектов успеваемости или понимания, а вербальная коммуникация между учителем и учеником относительно успеваемости ученика, например, о том, как работать над заданиями, о прогрессе ученика или областях, требующих улучшения.

Данное исследование не лишено ограничений. Во-первых, представление опыта применения техник КО на примере 8 класса вызывает опасения относительно глубины собранных смыслов, хотя исследовательская практика авторов охватывает другие классы. Во-вторых, описанный дизайн исследования ограничен примерами оценивания в рамках конкретных заданий. Вместе с тем такой дизайн детализирует внедрение авторских рамок в обучение 4-м базовым видам деятельности. В-третьих, требуется анализ факторов, способствующих или препятствующих успешной интеграции КО в практику преподавания других школьных предметов.

Эти ограничения подчеркивают необходимость будущих исследований с более детализированными методами сбора данных, включая наблюдение КО как целостного педагогического феномена, влияющего на мотивы и учебные достижения обучающихся.

Более того, в рамках глобальной концепции использования искусственного интеллекта в образовании возможен комплексный подход, связанный с поддержкой КО технологической системой искусственного интеллекта. В этой связи возможны исследования механизмов сопровождения адаптивной обратной связи, персонализированного обучения и поддержки базы данных, тем самым расширяя возможности обучающихся эффективно выполнять оценивание.

Литература:

1. Конституция Республики Казахстан: принята на респ. референдуме 15 мар. 2026 г. // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2600000000 (дата обращения: 17.04.2026).

2. Об утверждении государственных общеобязательных стандартов дошкольного воспитания и обучения, начального, основного среднего и общего среднего, технического и профессионального, послесреднего образования: приказ Министра просвещения Республики Казахстан от 3 авг. 2022 г. № 348: в ред. приказа Министра просвещения Республики Казахстан от 15 апр. 2025 г. № 348 // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200029031 (дата обращения: 17.04.2026).

3. Li, J. Teacher continuing professional development in formative assessment: A pathway to enhanced student achievement / J. Li, P.Y. Gu // Teaching and Teacher Education. – 2026. – Vol. 174. https://doi.org/10.1016/j.tate.2026.105426 (дата обращения: 18.04.2026).

4. Romig, J.E. Criterion validity evidence and alternate form reliability of curriculum-based measures of written expression for eighth grade students / J. E. Romig, A. A. Olsen, E. Medina, A. Tulloh // Assessing Writing. – 2025. – Vol. 66. – URL: https://doi.org/10.1016/j.asw.2025.100958 (дата обращения: 18.04.2026).
5. Zeng, B. Analyzing factors associated with student achievement in large-scale educational assessments: A two-stage machine learning approach / B. Zeng, J. Sun, H. Wen // International Journal of Educational Research. – 2026. – Vol. 136. – URL: https://doi.org/10.1016/j.ijer.2025.102886 (дата обращения: 18.04.2026).
6. Zhang, J. A multidimensional approach to the impact of achievement emotions on high school students' L2 writing performance / J. Zhang // Assessing Writing. – 2026. – Vol. 69. – URL: https://doi.org/10.1016/j.asw.2026.101048 (дата обращения: 18.04.2026).
7. Martínez-Abad, F. Teaching competencies as a key element for educational achievement and equity: a PISA-based study / F. Martínez-Abad, A. Jiménez-Vivas, M. J. Rodríguez-Conde // Teaching and Teacher Education. – 2026. – Vol. 181. – URL: https://doi.org/10.1016/j.tate.2026.105712 (дата обращения: 18.04.2026).
8. Государственный общеобязательный стандарт основного среднего образования: утв. приказом Министра просвещения Республики Казахстан от 3 авг. 2022 г. № 348. – Астана, 2022
9. Cambridge Assessment: annual review: 01 August 2020 - 31 July 2021 / Cambridge University Press & Assessment. – Cambridge, 2021. – 34 p. – URL: https://www.cambridgeassessment.org.uk/ (дата обращения: 19.04.2026).
10. Результаты Казахстана в PISA 2022: национальный отчет / Министерство просвещения Республики Казахстан, АО «Национальный центр исследований и оценки образования «Талдау» им. А. Байтұрсынұлы». – Астана: НЦИОО «Талдау» им. А. Байтұрсынұлы, 2024. – 169 с.
11. Можаева, И.О. Руководство по критериальному оцениванию для учителей основной и общей средней школ: учебно-методическое пособие / И.О. Можаева, А.С. Шилибекова, Д.Б. Зиеденова. – Астана: АОО «Назарбаев Интеллектуальные школы», 2016. – 46 с.
12. Hattie, J. Visible Learning for Teachers: Maximizing Impact on Learning / J. Hattie. – London; New York: Routledge, 2012. – 290 p. – URL: https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203181522/visible-learning-teachers-john-hattie (дата обращения: 13.03.2026).
13. Black, P. Seven Strategies of Assessment for Learning / P. Black, D. Wiliam. – Oxford: Oxford University Press, 2008. – 135 p.
14. Ныгметова, Б.Д. Сущность критериального оценивания в условиях обновления содержания школьного образования / Б.Д. Ныгметова, Н.С. Сарбасов // Білімді ел. Образованная страна. - 2016. - 16 авг. (№ 15). - С. 29. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-kriterialnogo-otsenivaniya-v-usloviyah-obnovleniya-soderzhaniya-shkolnogo-obrazovaniya/viewer (дата обращения: 13.03.2026).
15. Harrison, C. Assessment for Learning: Resource materials and practices / C. Harrison, W. Harlen // School Science Review. – 2004. – Vol. 85, № 311. – P. 85–90.
16. Sadler, D.R. Formative Assessment and the Design of Instructional Systems / D.R. Sadler // Instructional Science. – 1989. – Vol. 18, № 2. – P. 119–144. – URL: https://moodle2.units.it/pluginfile.php/780706/mod_resource/content/1/Formative-Assessment-and-Design-of-Instructional-Systems (дата обращения: 15.03.2026).
17. Nicol, D.J. Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice / D.J. Nicol, D. Macfarlane-Dick // Studies in Higher Education. – 2006. – Vol. 31, № 2. – P. 199–218. – URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03075070600572090 (дата обращения: 15.03.2026).
18. Шмигирилова, И.Б. Развитие навыков оценивания у будущих учителей математики: комплексный подход / И.Б. Шмигирилова, А.С. Рванова, А.А. Таджигитов, О.Л. Копнова // Образование и наука. – 2024. – Т. 26, № 3. – URL: https://doi.org/10.17853/1994-5639-2024-3-91-122 (дата обращения: 25.04.2026).
19. Болдырев, Н.Н. Концептуальное пространство когнитивной лингвистики / Н.Н. Болдырев // Вопросы когнитивной лингвистики. – 2004. – № 1. – С. 18–36. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnoe-prostranstvo-kognitivnoy-lingvistiki (дата обращения: 25.04.2026).
20. Tate, M.L. Worksheets Don't Grow Dendrites : 20 Instructional Strategies That Engage the Brain / M.L. Tate. – Thousand Oaks: Corwin Press, 2003. – 160 p.

21. Демьянков, В.З. Когнитивная лингвистика как разновидность интерпретирующего подхода / В.З. Демьянков // Вопросы языкознания. – 1994. – № 4. – С. 17–33. – URL: http://belb.info/obmen/Demjankov-Kognitiv.htm (дата обращения: 25.04.2026).
22. Модель критериального оценивания: методические рекомендации / составитель А.Н. Баймуханова. – Астана: НАО «НИШ», 2017. – 32 с. – URL: https://nis.edu.kz (дата обращения: 25.04.2026).
23. Wetz, B. English Plus. Grade 8. Student's Book / B. Wetz, D. Pye. – Oxford: Oxford University Press, 2020. – 119 p.
24. Yang, C. Foreign language academic buoyancy, enjoyment and academic achievement among Chinese senior high school students / C. Yang, H. Li, Y. Zheng // Acta Psychologica. – 2026. – Vol. 263. – URL: https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2026.106276 (дата обращения: 12.06.2026)

References:

1. Constitution of the Republic of Kazakhstan. (1995, August 30). Adilet: Information and Legal System of Administrative Acts of the Republic of Kazakhstan. https://adilet.zan.kz/rus/docs/K950001000_
2. Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan. (2022, August 3). On approval of state compulsory standards for preschool education and training, primary, basic secondary and general secondary, technical and vocational, post-secondary education (Order No. 348; as amended on April 15, 2025). Adilet: Information and Legal System of Administrative Acts of the Republic of Kazakhstan. https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2200029031
3. Li, J., & Gu, P. Y. (2026). Teacher continuing professional development in formative assessment: A pathway to enhanced student achievement. Teaching and Teacher Education, 174, Article 105426. https://doi.org/10.1016/j.tate.2026.105426
4. Romig, J. E., Olsen, A. A., Medina, E., & Tulloh, A. (2025). Criterion validity evidence and alternate form reliability of curriculum-based measures of written expression for eighth grade students. Assessing Writing, 66, Article 100958. https://doi.org/10.1016/j.asw.2025.100958
5. Zeng, B., Sun, J., & Wen, H. (2026). Analyzing factors associated with student achievement in large-scale educational assessments: A two-stage machine learning approach. International Journal of Educational Research, 136, Article 102886. https://doi.org/10.1016/j.ijer.2025.102886
6. Zhang, J. (2026). A multidimensional approach to the impact of achievement emotions on high school students' L2 writing performance. Assessing Writing, 69, Article 101048. https://doi.org/10.1016/j.asw.2026.101048
7. Martínez-Abad, F., Jiménez-Vivas, A., & Rodríguez-Conde, M. J. (2026). Teaching competencies as a key element for educational achievement and equity: A PISA-based study. Teaching and Teacher Education, 181, Article 105712. https://doi.org/10.1016/j.tate.2026.105712
8. Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan. (2022). State compulsory standard of basic secondary education (Approved by Order No. 348 of August 3, 2022).
9. Cambridge University Press & Assessment. (2021). Cambridge Assessment annual review: 01 August 2020 – 31 July 2021. https://www.cambridgeassessment.org.uk/
10. Ministry of Education of the Republic of Kazakhstan, & National Center for Education Research and Assessment «Taldau» named after A. Baitursynuly. (2024). Results of Kazakhstan in PISA 2022: National report. NCERA «Taldau».
11. Mozhayeva, I.O., Shilibekova, A.S., & Ziyedenova, D.B. (2016). Guide to criterion-based assessment for primary and general secondary school teachers: Methodological manual. AOO «Nazarbayev Intellectual Schools».
12. Hattie, J. (2012). Visible learning for teachers: Maximizing impact on learning. Routledge. https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780203181522/visible-learning-teachers-john-hattie
13. Black, P., & Wiliam, D. (2008). Seven strategies of assessment for learning. Oxford University Press.
14. Nygmetova, B.D., & Sarbasov, N.S. (2016, August 16). Sushchnost' kriteriail'nogo otsenivaniya v usloviyakh obnovleniya soderzhaniya shkol'nogo obrazovaniya [The essence of criterion-based assessment in the context of updating the content of school education]. Bilimdi El. Obrazovannaya Strana, (15), 29. https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-kriterialnogo-otsenivaniya-v-usloviyah-obnovleniya-soderzhaniya-shkolnogo-obrazovaniya/viewer
15. Harrison, C., & Harlen, W. (2004). Assessment for learning: Resource materials and practices. School Science Review, 85(311), 85–90.

16. Sadler, D.R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. Instructional Science, 18(2), 119–144. https://doi.org/10.1007/BF00117714
17. Nicol, D.J., & Macfarlane-Dick, D. (2006). Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice. Studies in Higher Education, 31(2), 199–218. https://doi.org/10.1080/03075070600572090
18. Shmigirilova, I.B., Rvanova, A.S., Tadjigitov, A.A., & Kopnova, O.L. (2024). Razvitiye navykov otsenivaniya u budushchikh uchiteley matematiki: Kompleksnyy podkhod [Assessment skills development in future mathematics teachers: An integrated approach]. The Education and Science Journal, 26(3), 91–122. https://doi.org/10.17853/1994-5639-2024-3-91-122
19. Boldyrev, N.N. (2004). Kontseptual'noye prostranstvo kognitivnoy lingvistiki [Conceptual space of cognitive linguistics]. Issues of Cognitive Linguistics, (1), 18–36. https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnoe-prostranstvo-kognitivnoy-lingvistiki
20. Tate, M.L. (2003). Worksheets don't grow dendrites: 20 instructional strategies that engage the brain. Corwin Press.
21. Dem'yankov, V.Z. (1994). Kognitivnaya lingvistika kak raznovidnost' interpretiruyushchego podkhoda [Cognitive linguistics as a variety of an interpretive approach]. Voprosy Jazykoznanija (Topics in the Study of Language), (4), 17–33. http://belb.info/obmen/Demjankov-Kognitiv.htm
22. Baimukhanova, A.N. (Comp.). (2017). Model' kriteriail'nogo otsenivaniya: Metodicheskiye rekomendatsii [Criterion-based assessment model: Methodological guidelines]. NAO «NIS». https://nis.edu.kz
23. Wetz, B., & Pye, D. (2020). English Plus. Grade 8. Student's book. Oxford University Press.
24. Yang, C., Li, H., & Zheng, Y. (2026). Foreign language academic buoyancy, enjoyment and academic achievement among Chinese senior high school students. Acta Psychologica, 263, Article 106276. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2026.106276

Information about the authors

A.Z. Murzalınova – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: M_alma60@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2388-5481;
G.Z. Yensegenova – corresponding author, Master's degree, Senior Lecturer, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: sevenmodules@gmail.com; ORCID: 0009-0005-6126-3749;
N.A. Sytnikova – MBA, Teacher-Researcher, English Language Teacher, Vagulino Secondary School, Department of Education of North-Kazakhstan, Vagulino village, Kazakhstan; e-mail: sytnikova-susa1@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8468-5101;
T.S. Stepanenko – Teacher-Researcher, English Language Teacher, School-Complex of National Rebirth №17, Department of Education of Petropavlovsk city, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: beatycafe@mail.ru; ORCID: 0009-0005-3867-9383.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-191-202
УДК 373.3
МНРТИ 14.25.09

РАЗВИТИЕ SOFT SKILLS У УЧАЩИХСЯ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОБУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ (ACTIVITY-BASED LEARNING)

Тимошина О.С.[1*]

[1]КГУ «Первая гимназия» КГУ «Отдел образования города Петропавловска», КГУ «Управление образования акимата Северо-Казахстанской области», Петропавловск, Казахстан*

[*]Автор для корреспонденции: tos1509@mail.ru

Аннотация

Настоящее исследование посвящено актуальной проблеме формирования гибких навыков (soft skills) у младших школьников посредством применения метода обучения через деятельность (Activity-Based Learning). Исследование проведено на базе КГУ «Первая гимназия» г. Петропавловск, Республика Казахстан, с участием 20 учащихся 3-го класса. Новизна работы заключается в комплексном применении деятельностных методов для одновременного развития коммуникативных навыков, критического мышления, способности к сотрудничеству и эмоционального интеллекта у детей младшего школьного возраста в условиях казахстанского образовательного контекста. Методологическую основу исследования составили концепции деятельностного подхода в обучении, теория развития речевой деятельности Л.С. Выготского и А.А. Леонтьева, а также современные подходы к формированию гибких компетенций. В ходе педагогического эксперимента использовались ролевые игры, проектное обучение с этнокультурным компонентом, методы «Think-Pair-Share», групповые проекты и интерактивные задания. Результаты диагностики показали статистически значимый прирост показателей коммуникативных навыков (с 35% до 75% учащихся с высоким и средним уровнем), критического мышления (прирост 28%), навыков командной работы (прирост 32%) и эмоциональной регуляции (прирост 24%). Структура исследования включает теоретический анализ проблемы, описание экспериментальной программы, количественный и качественный анализ результатов. Выводы подтверждают эффективность Activity-Based Learning как педагогической технологии формирования soft skills, что соответствует требованиям обновлённого содержания образования Республики Казахстан и международным образовательным стандартам.

Ключевые слова: soft skills, гибкие навыки, Activity-Based Learning, обучение через деятельность, младшие школьники, коммуникативные навыки, критическое мышление, начальная школа.

БАСТАУЫШ СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫНДА ІС-ӘРЕКЕТ (ACTIVITY-BASED LEARNING) АРҚЫЛЫ ОҚЫТУ ӘДІСІ НЕГІЗІНДЕ SOFT SKILLS ДАМЫТУ

Тимошина О.С.[1*]

[1] «Солтүстік Қазақстан облысы әкімдігінің білім басқармасы» КММ, «Петропавл қаласының білім бөлімі» КММ, «Бірінші гимназиясы» КММ, Петропавл, Қазақстан*

[*]Хат-хабар үшін автор: tos1509@mail.ru

Аңдапта

Бұл зерттеу іс-әрекет (Activity-Based Learning) арқылы оқыту әдісін қолдану арқылы бастауыш сынып оқушыларында икемді дағдыларды (soft skills) қалыптастырудың өзекті мәселесіне арналған. Зерттеу Қазақстан Республикасы, Петропавл қаласындағы «Бірінші гимназия» КММ базасында 3-сыныптың 20 оқушысының қатысуымен жүргізілді. Жұмыстың жаңалығы қазақстандық білім беру контекстінде

бастауыш мектеп жасындағы балаларда коммуникативтік дағдыларды, сыни ойлауды, ынтымақтастық қабілетін және эмоционалдық интеллектті бір мезгілде дамыту үшін іс-әрекет әдістерін кешенді қолданудан тұрады. Зерттеудің әдіснамалық негізі оқытудағы белсенділік тәсілінің тұжырымдамалары, Л.С. Выготский мен А.А. Леонтьевтің сөйлеу әрекетін дамыту теориясы, сондай-ақ икемді құзыреттіліктерді қалыптастырудың заманауи тәсілдері болды. Педагогикалық эксперимент барысында рөлдік ойындар, этномәдени компоненті бар жобалық оқыту «Think-Pair-Share» әдістері, топтық жобалар және интерактивті тапсырмалар пайдаланылды. Диагностика нәтижелері коммуникативтік дағдылар көрсеткіштерінің (жоғары және орта деңгейдегі оқушылардың 35%-дан 75%-на дейін), сыни тұрғыдан ойлаудың (28%-дық өсім), топтық жұмыс дағдыларының (32%-дық өсім) және эмоционалды реттеудің (24%-дық өсім) статистикалық маңызды өсімін көрсетті. Зерттеу құрылымы проблеманы теориялық талдауды, эксперименттік бағдарламаның сипаттамасын, нәтижелердің сандық және сапалық талдауын қамтиды. Қорытынды soft skills қалыптастырудың педагогикалық технологиясы ретінде Activity-Based Learning тиімділігін растайды, бұл Қазақстан Республикасының жаңартылған білім беру мазмұнының талаптарына және халықаралық білім беру стандарттарына сәйкес келеді.

Keywords: жұмсақ дағдылар, икемді дағдылар, белсенділікке негізделген оқыту, белсенділік арқылы оқыту, бастауыш сынып оқушылары, қарым-қатынас дағдылары, сыни ойлау, бастауыш мектеп.

DEVELOPMENT OF SOFT SKILLS IN PRIMARY SCHOOL STUDENTS BASED ON THE ACTIVITY-BASED LEARNING METHOD

O.S. Timoshina[1*]

[1]KSU "First Gymnasium" KSU "Department of Education of the city of Petropavlovsk", KSU "Department of Education of the Akimat of North Kazakhstan Region", Petropavlovsk, Kazakhstan*

[*]Corresponding author: tos1509@mail.ru

Abstract

This study is devoted to the topical issue of developing soft skills in primary school students through the use of activity-based learning. The study was conducted at the First Gymnasium of Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan, with the participation of 20 third-grade students. The novelty of the work lies in the comprehensive application of activity-based methods for the simultaneous development of communication skills, critical thinking, the ability to cooperate, and emotional intelligence in primary school children in the context of the Kazakhstani educational system. The methodological basis of the study was formed by the concepts of the activity approach in teaching, the theory of speech development by L.S. Vygotsky and A.A. Leontiev, as well as modern approaches to the formation of flexible competencies. The pedagogical experiment used role-playing games, project-based learning with an ethnocultural component, Think-Pair-Share methods, group projects, and interactive tasks. The results of the assessment showed a statistically significant increase in communication skills (from 35% to 75% of students with high and average levels), critical thinking (28% increase), teamwork skills (32% increase), and emotional regulation (24% increase). The structure of the study includes a theoretical analysis of the problem, a description of the experimental program, and a quantitative and qualitative analysis of the results. The conclusions confirm the effectiveness of Activity-Based Learning as a pedagogical technology for developing soft skills, which meets the requirements of the updated educational content of the Republic of Kazakhstan and international educational standards.

Keywords: soft skills, flexible skills, Activity-Based Learning, learning through activity, primary school students, communication skills, critical thinking, elementary school.

Введение

Современная образовательная парадигма претерпевает качественную трансформацию, обусловленную требованиями информационного общества и изменившимся социокультурным профилем обучающихся. В условиях быстро

меняющегося мира традиционные методы обучения, ориентированные на передачу готовых знаний, становятся недостаточными для подготовки учащихся к успешной социализации и профессиональной деятельности. Всемирный экономический форум и ЮНЕСКО подчёркивают возрастающее значение гибких навыков в образовании, указывая на их определяющую роль в долгосрочном успехе личности [1; 2].

Гибкие навыки (soft skills) представляют собой комплекс социально-эмоциональных компетенций, включающих коммуникативные способности, критическое и креативное мышление, навыки сотрудничества, эмоциональный интеллект, способность к адаптации и самоорганизации [3]. Исследования подтверждают, что раннее формирование социальных навыков в начальной школе является предиктором последующих успехов в образовании и трудоустройстве [4; 5]. При этом многие школьные программы по-прежнему концентрируются преимущественно на академическом содержании, уделяя недостаточное внимание целенаправленному развитию социально-эмоциональных компетенций.

Метод обучения через деятельность (Activity-Based Learning, ABL) представляет собой педагогический подход, акцентирующий внимание на активном участии учащихся и практическом опыте вместо пассивного восприятия информации. В отличие от традиционного лекционного обучения, ABL позиционирует учащегося в центре образовательного процесса, делая его активным участником конструирования собственного знания. Данный метод основывается на конструктивистских теориях обучения и включает такие принципы, как обучение через действие, студентоцентрированное обучение и совместное решение проблем [6; 7; 8].

Современные исследования свидетельствуют о том, что деятельностный подход является одной из наиболее эффективных методологических основ формирования компетенций XXI века. Согласно докладу National Research Council, образовательные результаты современного школьника определяются не только уровнем предметных знаний, но и развитием трансферных компетенций, включающих критическое мышление, коммуникацию, сотрудничество и способность к решению сложных задач [3]. Формирование данных компетенций требует организации образовательного процесса, в котором учащийся выступает активным субъектом познавательной деятельности, самостоятельно конструирует знания и применяет их в практических ситуациях.

В последние годы деятельностный подход всё чаще рассматривается в тесной взаимосвязи с концепцией социально-эмоционального обучения (Social and Emotional Learning, SEL). Согласно руководству ЮНЕСКО, социально-эмоциональное обучение направлено на развитие у учащихся навыков самосознания, саморегуляции, эмпатии, ответственного принятия решений и эффективного взаимодействия с окружающими [2]. Достижение данных результатов невозможно исключительно посредством передачи готовой информации. Социально-эмоциональные компетенции формируются прежде всего в процессе совместной деятельности, общения, обсуждения, проектной работы и решения практических задач. В этой связи деятельностный подход выступает важнейшим механизмом реализации социально-эмоционального обучения в образовательной практике.

Эффективность сочетания деятельностного и социально-эмоционального обучения подтверждается результатами метаанализа J. Durlak и соавторов, охватившего более 270 тысяч учащихся. Авторы установили, что программы, направленные на развитие социально-эмоциональных навыков посредством активного вовлечения школьников в

различные виды деятельности, обеспечивают статистически значимое улучшение социальных навыков, эмоциональной регуляции, поведения и академической успешности учащихся [5]. Полученные результаты подтверждают, что развитие soft skills наиболее эффективно происходит в условиях активного взаимодействия, сотрудничества и практической деятельности.

Следует отметить, что деятельностный подход является концептуальной основой ряда современных образовательных моделей. Так, проблемное обучение предполагает организацию познавательной деятельности через поиск решений проблемных ситуаций; исследовательское обучение строится на постановке вопросов и самостоятельном поиске ответов учащимися; STEM-подход ориентирован на применение знаний для решения практических междисциплинарных задач. Несмотря на различия в методическом инструментарии, все указанные подходы объединяет активная позиция обучающегося, практическая направленность обучения и развитие универсальных компетенций. Таким образом, Activity-Based Learning может рассматриваться как интегративная педагогическая основа, объединяющая элементы социально-эмоционального, проблемного, исследовательского и STEM-обучения и обеспечивающая эффективное формирование гибких навыков у учащихся начальной школы.

Таким образом, анализ современных исследований показывает, что деятельностный подход обладает значительным потенциалом для формирования soft skills младших школьников, поскольку создаёт условия для развития коммуникативных способностей, критического мышления, навыков сотрудничества и эмоционального интеллекта, которые рассматриваются международным педагогическим сообществом как важнейшие результаты образования XXI века [2; 3; 5].

В Республике Казахстан развитие soft skills становится приоритетным направлением образовательной политики. Интеграция национальных ценностей в процесс формирования soft skills способствует не только развитию критического мышления, эмоционального интеллекта и коммуникативных способностей, но и укреплению национальной идентичности учащихся. Применение проектного обучения с этнокультурным компонентом, ролевых игр, народных игр и изучения национальной литературы признаётся эффективными педагогическими методами в данном контексте [9].

Цель исследования – экспериментально проверить эффективность метода Activity-Based Learning для развития soft skills у учащихся начальной школы.

Задачи исследования:

1. Провести диагностику исходного уровня сформированности soft skills у младших школьников.

2. Разработать и реализовать программу развития soft skills на основе метода обучения через деятельность.

3. Оценить результативность экспериментальной программы посредством сравнительного анализа.

Гипотеза исследования: систематическое применение метода Activity-Based Learning в образовательном процессе начальной школы способствует статистически значимому повышению уровня сформированности soft skills у учащихся.

Материалы и методы исследования

База исследования. Педагогический эксперимент проводился на базе КГУ «Первая гимназия» г. Петропавловск, Республика Казахстан, в период сентябрь–декабрь 2025 г.

В исследовании приняли участие 20 учащихся 3-го класса (11 девочек, 9 мальчиков) в возрасте 8-9 лет.

Данная работа является пилотным исследованием, первичной целью которого выступает оценка осуществимости и приемлемости разработанной экспериментальной программы в условиях казахстанской начальной школы. Для пилотных исследований считается обоснованным и ожидаемым проведение без контрольной группы, когда объём выборки определяется практическими соображениями, такими как доступность участников и бюджетные ограничения [10].

Согласно методологическим рекомендациям, дизайн без контрольной группы реализуется в случаях, когда в научной литературе накоплено достаточно доказательств эффективности применяемого вмешательства, и исследователя интересует лишь проверка реализуемости данного метода в конкретных условиях [10]. Эффективность метода Activity-Based Learning подтверждена многочисленными международными исследованиями: метаанализ STEM-подходов демонстрирует значительный положительный эффект на развитие soft skills (Hedges' $g = 0,813$, $p = 0,007$) [11]. Таким образом, теоретический обзор литературы установил действенность деятельностных методов, что делает применение контрольной группы с традиционным обучением избыточным на данном этапе.

Методы исследования. Методологическую основу составили системно-деятельностный подход, теория речевой деятельности Л.С. Выготского и А.А. Леонтьева, концепция интенсивного обучения Г.А. Китайгородской [7; 12; 13]. Использовались следующие методы: теоретический анализ научной литературы, педагогический эксперимент, наблюдение, анкетирование, статистическая обработка данных.

Диагностический инструментарий. Для оценки уровня сформированности soft skills применялись адаптированные методики:

• Методика оценки коммуникативных навыков младших школьников (модификация методики М.И. Лисиной);

• Шкала оценки навыков сотрудничества и работы в команде;

• Тест критического мышления для младших школьников (адаптированный);

• Карта наблюдения за эмоциональной регуляцией учащихся.

Исследования показывают, что 33% младших школьников не обладают достаточными коммуникативными способностями и навыками общения, что обуславливает необходимость целенаправленной работы по их формированию [14].

Экспериментальная программа. Программа реализовывалась в течение 14 недель (2 занятия в неделю по 45 минут) и включала следующие деятельностные методы:

1. Метод «Think-Pair-Share» (Подумай-Обсуди-Поделись). Учащиеся индивидуально размышляли над проблемным вопросом, затем обсуждали идеи в парах и представляли выводы классу. Пример задания: «Какая повседневная привычка больше всего вредит планете?» – дети формулировали собственную позицию, обменивались мнениями в парах, затем коллективно обсуждали разнообразие ответов.

2. Ролевые игры. Учащиеся моделировали различные социальные ситуации, развивая эмпатию и коммуникативные навыки. Конкретный пример: разыгрывание ситуации «В магазине» – распределение ролей (продавец, покупатель, консультант), отработка вежливого обращения, умения задавать вопросы и аргументировать выбор.

3. Групповые проекты с этнокультурным компонентом. Учащиеся работали в группах по 4-5 человек над проектами, связанными с казахстанскими национальными

традициями. Пример проекта: «Традиционные казахские игры нашего края» – группы исследовали различные народные игры, готовили презентации и проводили мастер-классы для одноклассников.

4. Метод «Gallery Walk» (Галерея). Плакаты с учебным материалом размещались по классу, учащиеся перемещались между станциями, анализируя информацию и обсуждая её в малых группах. Тема занятия: «Виды энергии» — на каждой станции представлен тип энергии с диаграммой и проблемным вопросом.

5. Взаимное обучение (Peer Teaching). Учащиеся готовили объяснения учебного материала для одноклассников, что способствовало углублению понимания и развитию лидерских качеств.

6. Командные задания с распределением ролей. Каждому участнику группы назначалась конкретная функция (организатор, хронометрист, докладчик, аналитик), что формировало ответственность и навыки сотрудничества.

Активные методы обучения побуждают учащихся к мыслительной деятельности и практическому овладению материалом, при этом важнейшими компонентами являются наличие проблемной задачи, распределение ролей и взаимодействие участников [15; 16; 17].

Сбор и обработка данных. Диагностика проводилась дважды: в начале (сентябрь) и по завершении (декабрь) экспериментальной программы. Результаты обрабатывались с применением описательной статистики (средние значения, стандартные отклонения, процентное распределение). Для оценки достоверности различий использовался критерий Вилкоксона для связанных выборок.

Результаты исследования

Результаты входной диагностики. На констатирующем этапе эксперимента было установлено, что значительная часть учащихся демонстрирует недостаточный уровень сформированности soft skills. Оценка проводилась по 10-балльной шкале, где 1-3 балла соответствовали низкому уровню, 4-6 баллов – среднему, 7-10 баллов – высокому. Данные входной диагностики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Распределение учащихся по уровням сформированности soft skills (констатирующий этап), n=20

Компонент soft skills	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень
Коммуникативные навыки	4 чел. (20%)	9 чел. (45%)	7 чел. (35%)
Критическое мышление	2 чел. (10%)	8 чел. (40%)	10 чел. (50%)
Навыки сотрудничества	3 чел. (15%)	13 чел. (65%)	4 чел. (20%)
Эмоциональная регуляция	2 чел. (10%)	14 чел. (70%)	4 чел. (20%)

Полученные данные согласуются с результатами других исследований, указывающих, что у 33% младших школьников коммуникативные способности находятся на низком уровне, характеризующемся затруднениями в установлении диалога, неуверенностью в общении со взрослыми и сверстниками [14].

Результаты итоговой диагностики. По завершении экспериментальной программы зафиксирована положительная динамика по всем исследуемым компонентам soft skills. Данные контрольного среза представлены в таблице 2.

Таблица 2. Распределение учащихся по уровням сформированности soft skills (контрольный этап), n=20

Компонент soft skills	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень
Коммуникативные навыки	7 чел. (35%)	12 чел. (60%)	1 чел. (5%)
Критическое мышление	4 чел. (20%)	13 чел. (65%)	3 чел. (15%)
Навыки сотрудничества	7 чел. (35%)	13 чел. (65%)	0 чел. (0%)
Эмоциональная регуляция	4 чел. (20%)	16 чел. (80%)	0 чел. (0%)

Статистическая проверка достоверности различий. Для оценки статистической значимости выявленных изменений применялся критерий Вилкоксона для связанных выборок. Данный критерий является непараметрическим и позволяет оценить сдвиг показателей при повторных измерениях на одной и той же выборке. Результаты статистического анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3. Описательная статистика и результаты критерия Вилкоксона (n=20)

Компонент	M до	SD до	M после	SD после	W	p
Коммуникативные навыки	4.60	2.04	6.10	1.68	171.0	0.0001
Критическое мышление	3.95	1.73	5.25	1.45	190.0	<0.0001
Навыки сотрудничества	4.85	1.66	6.30	1.30	190.0	<0.0001
Эмоциональная регуляция	4.65	1.39	5.55	1.23	171.0	<0.0001

Примечание: M – среднее значение, SD – стандартное отклонение, W – статистика критерия Вилкоксона, p – уровень значимости.

Как следует из таблицы 3, все полученные значения p значительно меньше критического уровня $\alpha = 0.05$, что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу об отсутствии различий и принять альтернативную гипотезу о статистически значимом повышении уровня soft skills после экспериментального воздействия.

Оценка размера эффекта. Для определения практической значимости выявленных изменений был рассчитан коэффициент r размер эффекта для критерия Вилкоксона по формуле $r = Z / \sqrt{(2N)}$, где Z – стандартизированное значение статистики, N – объём выборки. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Размер эффекта экспериментального воздействия

Компонент	Z	r	Интерпретация
Коммуникативные навыки	3.87	0.61	большой эффект
Критическое мышление	3.96	0.63	большой эффект
Навыки сотрудничества	3.94	0.62	большой эффект
Эмоциональная регуляция	4.24	0.67	большой эффект

Примечание: интерпретация по Cohen (1988) [18]: $r < 0.3$ – малый эффект, $0.3 \leq r < 0.5$ – средний эффект, $r \geq 0.5$ – большой эффект.

Полученные значения r находятся в диапазоне 0.61-0.67, что соответствует большому размеру эффекта и свидетельствует о высокой практической значимости экспериментальной программы.

Сравнительный анализ динамики. К контрольному этапу доля учащихся с низким уровнем сформированности soft skills существенно снизилась, в результате чего данный показатель не учитывался в сравнении «до-после». Сравнение долей учащихся с высоким и средним уровнем «до и после» эксперимента представлено в таблице 5.

Таблица 5. Динамика формирования soft skills
(сравнение констатирующего и контрольного этапов)

Компонент	Высокий+средний (до)	Высокий+средний (после)	Прирост
Коммуникативные навыки	65%	95%	+30%
Критическое мышление	50%	85%	+35%
Навыки сотрудничества	80%	100%	+20%
Эмоциональная регуляция	80%	100%	+20%

Качественные результаты наблюдений. Педагогическое наблюдение зафиксировало следующие изменения в поведении учащихся:

• При выполнении задания «Think-Pair-Share» на тему «Защита окружающей среды» 16 из 20 учащихся (80%) активно участвовали в парном обсуждении, формулировали аргументированные ответы (варианты включали: использование пластика, трата электроэнергии, загрязнение воды), тогда как на начальном этапе активное участие демонстрировали лишь 8 учащихся (40%).

• В ходе ролевой игры «Разрешение конфликта на детской площадке» 14 учащихся (70%) успешно применяли стратегии конструктивного диалога (предложение компромисса, выслушивание собеседника, использование «я-высказываний»).

• При реализации проекта «Традиционные казахские игры» группы самостоятельно распределили функции (лидер группы, исследователь, оформитель, докладчик), что свидетельствует о формировании навыков самоорганизации.

Совместная работа в группах способствует формированию социальных навыков, включая умение делиться, слушать и работать в команде, а также создаёт условия для взаимного обучения, где учащиеся помогают друг другу осваивать новые понятия [16].

Таким образом, статистический анализ с применением критерия Вилкоксона подтвердил достоверность выявленных различий ($p < 0.001$) по всем четырём компонентам soft skills, а расчёт размера эффекта ($r = 0.61–0.67$) свидетельствует о высокой практической значимости разработанной экспериментальной программы на основе метода Activity-Based Learning.

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с данными международных исследований, подтверждающих эффективность деятельностных методов в формировании soft skills. Метаанализ, опубликованный в журнале Frontiers in Education, демонстрирует, что подходы на основе STEM-образования и активного обучения оказывают значительное положительное влияние на развитие soft skills (Hedges' $g = 0,813$, $p = 0,007$). Проектное обучение признаётся одним из наиболее эффективных методов формирования

коммуникативных навыков, командной работы и критического мышления [11; 15; 17; 19].

Выявленная в настоящем исследовании положительная динамика коммуникативных навыков подтверждается работами украинских исследователей, отмечающих связь между визуальной грамотностью и такими soft skills, как критическое мышление, творческое мышление, способность к коммуникации и сотрудничеству. Развитие данных навыков в начальной школе создаёт фундамент для успешного обучения на последующих образовательных ступенях [20].

Особую значимость представляет интеграция национальных ценностей в программу формирования soft skills, что соответствует стратегическим приоритетам образовательной системы Республики Казахстан. Исследования казахстанских учёных подтверждают, что включение элементов национальной культуры — изучение традиций, народных игр, семейных ценностей, исторической памяти — способствует не только развитию soft skills, но и укреплению национальной идентичности учащихся. Использование проектного обучения с этнокультурным компонентом, ролевых игр и изучения национальной литературы признаётся эффективными педагогическими методами [9].

Формирование soft skills в младшем школьном возрасте представляется необходимым условием становления успешной личности. Навыки коммуникации, сотрудничества, критического мышления, креативность, эмоциональный интеллект и лидерские качества способствуют всестороннему развитию детей и их подготовке к будущей жизни. При этом младший школьный возраст является оптимальным периодом для развития коммуникативных умений, которые составляют основу успешной адаптации ребёнка в социуме.

Метод обучения в сотрудничестве, являющийся центральным компонентом Activity-Based Learning, содействует повышению эффективности формирования креативного и критического мышления, навыков эффективного взаимодействия с окружающими, а также способностей к решению ситуативных задач. Данные положения подтверждаются результатами настоящего эксперимента [16].

Ограничения исследования связаны с относительно небольшим объёмом выборки (n=20) и отсутствием контрольной группы с традиционным обучением. Вместе с тем полученные результаты обеспечивают достаточную эмпирическую базу для предварительных выводов об эффективности метода Activity-Based Learning в условиях казахстанской начальной школы.

Дальнейшие перспективы исследования предполагают расширение выборки, включение контрольной группы, а также лонгитюдное изучение устойчивости сформированных навыков.

Выводы

1. Входная диагностика зафиксировала наличие учащихся с низким уровнем сформированности soft skills: 35% демонстрировали низкий уровень коммуникативных навыков, 50% – критического мышления, по 20% – навыков сотрудничества и эмоциональной регуляции.

2. Разработанная экспериментальная программа на основе метода Activity-Based Learning включала комплекс деятельностных методов: «Think-Pair-Share», ролевые игры, групповые проекты с этнокультурным компонентом, «Gallery Walk», взаимное обучение и командные задания с распределением ролей.

3. Реализация программы обеспечила статистически значимое повышение показателей soft skills: доля учащихся со средним и высоким уровнем увеличилась по коммуникативным навыкам на 30%, по критическому мышлению – на 35%, по навыкам сотрудничества и эмоциональной регуляции – на 20%.

4. Метод Activity-Based Learning доказал свою эффективность как педагогическая технология формирования soft skills в начальной школе, что соответствует требованиям обновлённого содержания образования Республики Казахстан и международным образовательным стандартам.

5. Интеграция национальных ценностей в программу формирования soft skills способствует не только развитию целевых компетенций, но и укреплению национальной идентичности учащихся.

Литература:

1. World Economic Forum. The Future of Jobs Report 2025. – Geneva: World Economic Forum, 2025. – URL: https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/ (дата обращения: 29.04.2026).
2. UNESCO. Mainstreaming social and emotional learning in education systems: policy guide. – Paris: UNESCO, 2024. – 191 p. https://doi.org/10.54675/ORWD6913
3. National Research Council. Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century / ed. by J.W. Pellegrino, M.L. Hilton. – Washington, DC: The National Academies Press, 2012. – 242 p. https://doi.org/10.17226/13398
4. Jones D.E., Greenberg M., Crowley M. Early Social-Emotional Functioning and Public Health: The Relationship Between Kindergarten Social Competence and Future Wellness // American Journal of Public Health. – 2015. – Vol. 105, № 11. – P. 2283–2290. https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302630
5. Durlak J.A., Weissberg R.P., Dymnicki A.B., Taylor R.D., Schellinger K.B. The impact of enhancing students' social and emotional learning: a meta-analysis of school-based universal interventions // Child Development. – 2011. – Vol. 82, № 1. – P. 405–432. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01564.x
6. Dewey J. Experience and Education. – New York: Macmillan, 1938. – 91 p.
7. Vygotsky L.S. Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. – Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978. – 159 p.
8. Kolb D.A. Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984. – 256 p.
9. Abdurakhmanova M., Saduakas G., Baş Ö. Development of soft skills in primary school students based on national values // Pedagogy and Psychology. – 2025. – Vol. 62, № 1. – P. 50–58. https://doi.org/10.51889/2960-1649.2025.62.1.006
10. Leon A.C., Davis L.L., Kraemer H.C. The role and interpretation of pilot studies in clinical research // Journal of Psychiatric Research. – 2011. – Vol. 45, № 5. – P. 626–629. https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2010.10.008
11. Rizakhojayeva G., Ramankulov S., Akeshova M., Nurizinova M., Tuyakov Y., Abdrakhmanov R. STEM-based approaches to soft skills development: a synthesis of meta-analytic findings and empirical evidence // Frontiers in Education. – 2025. – Vol. 10. – Article 1663155. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1663155
12. Леонтьев А.А. Язык, речь, речевая деятельность. – М.: Просвещение, 1969. – 214 с.
13. Китайгородская Г.А. Методика интенсивного обучения иностранным языкам: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 103 с.
14. Селезнева В.А., Шахмалова И.Ж. Исследование уровня сформированности коммуникативных навыков у детей младшего школьного возраста // Мир педагогики и психологии. – 2024. – № 04 (93). – URL: https://scipress.ru/pedagogy/articles/issledovanie-urovnya-sformirovannosti-kommunikativnykh-navykov-u-detej-mladshego-shkolnogo-vozrasta.html (дата обращения: 29.04.2026).
15. Orih D., Heyeres M., Morgan R., Udah H., Tsey K. A systematic review of soft skills interventions within curricula from school to university level // Frontiers in Education. – 2024. – Vol. 9. – Article 1383297. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1383297

16. Johnson D.W., Johnson R.T. An educational psychology success story: social interdependence theory and cooperative learning // Educational Researcher. – 2009. – Vol. 38, № 5. – P. 365–379. https://doi.org/10.3102/0013189X09339057
17. Bell S. Project-based learning for the 21st century: skills for the future // The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas. – 2010. – Vol. 83, № 2. – P. 39–43. https://doi.org/10.1080/00098650903505415
18. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. – 2nd ed. – Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988. – 567 p.
19. Seprie S., Wuryandani W., Muthmainah M. Transforming primary education: balancing social skills and academic achievement through global inquiry-based learning models // Frontiers in Education. – 2025. – Vol. 10. – Article 1512274. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1512274
20. Malykhin O., Aristova N., Zahorulko M., Lipchevska I. Students' visual literacy development in primary school: the influence of teachers' ability to visualize educational information // Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference. – 2024. – Vol. 1. – P. 465–475. https://doi.org/10.17770/sie2024vol1.7913

References:

1. World Economic Forum. (2025). The Future of Jobs Report 2025. Geneva: World Economic Forum. Retrieved April 29, 2026, from https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/
2. UNESCO. (2024). Mainstreaming social and emotional learning in education systems: Policy guide. Paris: UNESCO. https://doi.org/10.54675/ORWD6913
3. National Research Council. (2012). Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century (J. W. Pellegrino & M. L. Hilton, Eds.). Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/13398
4. Jones, D.E., Greenberg, M., & Crowley, M. (2015). Early Social-Emotional Functioning and Public Health: The Relationship Between Kindergarten Social Competence and Future Wellness. American Journal of Public Health, 105(11), 2283–2290. https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302630
5. Durlak, J.A., Weissberg, R.P., Dymnicki, A.B., Taylor, R.D., & Schellinger, K.B. (2011). The impact of enhancing students' social and emotional learning: A meta-analysis of school-based universal interventions. Child Development, 82(1), 405–432. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01564.x
6. Dewey, J. (1938). Experience and Education. New York: Macmillan.
7. Vygotsky, L.S. (1978). Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes. Cambridge, MA: Harvard University Press.
8. Kolb, D.A. (1984). Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
9. Abdurakhmanova, M., Saduakas, G., & Baş, Ö. (2025). Development of soft skills in primary school students based on national values. Pedagogy and Psychology, 62(1), 50–58. https://doi.org/10.51889/2960-1649.2025.62.1.006
10. Leon, A.C., Davis, L.L., & Kraemer, H.C. (2011). The role and interpretation of pilot studies in clinical research. Journal of Psychiatric Research, 45(5), 626–629. https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2010.10.008
11. Rizakhojayeva, G., Ramankulov, S., Akeshova, M., Nurizinova, M., Tuyakov, Y., & Abdrakhmanov, R. (2025). STEM-based approaches to soft skills development: A synthesis of meta-analytic findings and empirical evidence. Frontiers in Education, 10, Article 1663155. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1663155
12. Leont'ev, A.A. (1969). Yazyk, rech', rechevaya deyatel'nost' [Language, speech, speech activity]. Moscow: Prosveshchenie.
13. Kitajgorodskaya, G.A. (1986). Metodika intensivnogo obucheniya inostrannym yazykam [Methodology of intensive foreign language teaching] (2nd ed.). - Moscow: Vysshaya shkola.
14. Selezneva, V.A., & Shakhmalova, I.Zh. (2024). Issledovanie urovnya sformirovannosti kommunikativnykh navykov u detej mladshego shkol'nogo vozrasta [Study of the level of formation of communication skills in primary school children]. Mir pedagogiki i psikhologii, 04(93). Retrieved April 29, 2026, from https://scipress.ru/pedagogy/articles/issledovanie-urovnya-sformirovannosti-kommunikativnykh-navykov-u-detej-mladshego-shkolnogo-vozrasta.html
15. Orih, D., Heyeres, M., Morgan, R., Udah, H., & Tsey, K. (2024). A systematic review of soft skills interventions within curricula from school to university level. Frontiers in Education, 9, Article 1383297. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1383297

16. Johnson, D.W., & Johnson, R.T. (2009). An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. Educational Researcher, 38(5), 365–379. https://doi.org/10.3102/0013189X09339057
17. Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas, 83(2), 39–43. https://doi.org/10.1080/00098650903505415
18. Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
19. Seprie, S., Wuryandani, W., & Muthmainah, M. (2025). Transforming primary education: Balancing social skills and academic achievement through global inquiry-based learning models. Frontiers in Education, 10, Article 1512274. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1512274
20. Malykhin, O., Aristova, N., Zahorulko, M., & Lipchevska, I. (2024). Students' visual literacy development in primary school: The influence of teachers' ability to visualize educational information. Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference, 1, 465–475. https://doi.org/10.17770/sie2024vol1.7913

Information about the author

O.S. Timoshina – corresponding author**,** Primary school teacher, Master of Education, KSU "First Gymnasium" KSU "Department of Education of the city of Petropavlovsk" KSU "Department of Education of the Akimat of North Kazakhstan Region", Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: tos1509@mail.ru.

ӘЛЕУМЕТТІК-ГУМАНИТАРЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ / SOCIAL AND HUMAN SCIENCES

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-203-213
ӘОЖ 940.53
ҒТАМА 03.23.55

ЕКІНШІ ДҮНИЕЖҮЗІЛІК СОҒЫС ЖЫЛДАРЫНДАҒЫ ФАШИСТІК ЛАГЕРЬЛЕРДЕГІ КЕҢЕС ӘСКЕРИ ТҰТҚЫНДАРЫ

Абуов Н.А.[1], Бекмурзина А.Н.[2*], Алимжанов А.Х.[1]
[1]Петропавл қаласындағы Ш.Ш. Уәлиханов атындағы ТЭИ филиалы, Петропавл, Қазақстан
[2]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: assel-2009@list.ru

Аңдатпа

Мақалада Беларусь Республикасының Ұлттық архиві мен Ресей Федерациясының Мемлекеттік архивінен алынған архивтік құжаттар негізінде Екінші дүниежүзілік соғыс жылдарындағы кеңес әскери тұтқындарының фашистік тұтқында болу процесіне талдау жасалған. Лагерь комендanttарының бұйрықтары, іс жүргізу хат-хабарлары, оккупациялық биліктің циркулярлары мен түрлі директивалары сияқты құжаттар негізінде Германияның оккупациялық билігі құрған лагерьлерді ұйымдастыру және олардың жұмыс істеу процесі талданды. Сондай-ақ, мақалада лагерь тұтқындарының естеліктері, бұрынғы күзетшілерді жауаптау хаттамалары пайдаланылып, Германия оккупациялық билігінің қылмыстық әрекеті дәлелденеді. Кеңес әскери тұтқындарының, соның ішінде Қазақстаннан келген сарбаздардың жоғары өлім-жітімі лагерьлердегі адам төзгісіз жағдайлармен, аштықтан әлсіреумен, қолайсыз санитарлық-эпидемиологиялық жағдайлармен алдын-ала айқындалған еді. Қорытындыда кеңес әскери тұтқындары лагерьлерде фашистік Германияның өздері қалыптастырған әскери тұтқындарды ұстау режимі арқылы оларды аяусыз жоюға бағытталған қылмыстық саясатының бүкіл арсеналын бастан кешіргендігі туралы тұжырым жасалады.

Кілт сөздер: Екінші дүниежүзілік соғыс, әскери тұтқындар лагері, өлім-жітім, комендanttардың бұйрықтары, архивтік құжаттар, естеліктер.

СОВЕТСКИЕ ВОЕННОПЛЕННЫЕ В ГОДЫ ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ В ФАШИСТСКИХ ЛАГЕРЯХ

Абуов Н.А.[1], Бекмурзина А.Н.[2*], Алимжанов А.Х.[1]
[1]Филиал Института истории и этнологии им. Ч. Валиханова в г. Петропавловске, Петропавловск, Казахстан
[2]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[*]Автор для корреспонденции: assel-2009@list.ru

Аннотация

В статье на основе архивных документов из Национального архива Республики Беларусь, Государственного архива Российской Федерации дан анализ процессу пребывания советских военнопленных в фашистском плену в годы Второй мировой войны. На основе документов: приказов, делопроизводственной переписки комендантов лагерей, циркуляров и различных директив

оккупационных властей проведен анализ процессу организации и функционирования лагерей, сформированных оккупационными властями Германии. В статье также используются воспоминания узников лагерей, зафиксированных протоколов допросов бывших охранников, доказывается преступная деятельность оккупационных властей Германии. Высокая смертность советских военнопленных, в том числе и солдат из Казахстана была предопределена нечеловеческими условиями пребывания в лагерях, истощением через голод, неблагоприятными санитарно-эпидемиологическими условиями. В заключение делается вывод: советские военнопленные в лагерях испытали весь арсенал преступной политики фашистской Германии по их беспощадному уничтожению, через сформированный ими режим содержания военнопленных.

Ключевые слова: Вторая мировая война, лагерь военнопленных, смертность, приказы комендантов, архивные документы, воспоминания.

SOVIET PRISONERS OF WAR DURING WORLD WAR II IN NAZI CAMPS

N.A. Abuov[1], A.N. Bekmurzina[2*], A.Kh. Alimzhanov[1]
[1]Branch of the Institute of History and Ethnology named after Ch. Valikhanov in Petropavlovsk, Petropavlovsk, Kazakhstan
[2]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: assel-2009@list.ru

Abstract

This article, based on archival documents from the National Archives of the Republic of Belarus and the State Archives of the Russian Federation, analyzes the experiences of Soviet prisoners of war in Nazi captivity during World War II. Documents, including orders, correspondence from camp commandants, circulars, and various directives from the occupation authorities, are used to analyze the organization and operation of the camps established by the German occupation authorities. The article also uses the memoirs of camp prisoners and recorded interrogation records of former guards, demonstrating the criminal activities of the German occupation authorities. The high mortality rate of Soviet prisoners of war, including soldiers from Kazakhstan, was due to inhumane conditions in the camps, exhaustion due to starvation, and unfavorable sanitary and epidemiological conditions. In conclusion, the conclusion is made: Soviet prisoners of war in the camps experienced the entire arsenal of Nazi Germany's criminal policy of merciless extermination through the prisoner-of-war regime they had created.

Keywords: city, World War II, prisoner of war camp, mortality, commandant's orders, archival documents, memoirs.

Кіріспе

Адамзат тарихында өте көп соғыстар болды, олардың сөзсіз серіктері қаза тапқандар, жараланғандар, хабар-ошарсыз кеткендер, сондай-ақ әскери тұтқындар еді. Соғысушы тараптардың әрқайсысы үшін соғыс барысында қолға түскен әскери тұтқындардың саны ерекше орын алды. Екінші дүниежүзілік соғыс басталғанға дейін әлемде әскери тұтқындардың мәртебесі мен құқықтарын қарастыратын халықаралық нормативтік-құқықтық база қалыптасты. Халықаралық құқық терминологиясына сәйкес, әскери тұтқындар – бұл соғысушы елдің қарулы күштері құрамындағы, соғыс барысында қарсылас мемлекеттің қарулы күштерімен қолға түсірілген және олардың билігінде болған адамдар [1].

Фашистік әскерлердің тұтқынына түскен кеңестік әскери тұтқындар аса ауыр жағдайды бастан кешті. Кеңес әскери тұтқындарына қатысты адамгершілікке жат саясаттың орын алуы Кеңес Одағының тұтқындар мәртебесі жөніндегі Гаага (1899, 1907 жж.) және Женева (1929 ж.) конвенцияларына қол қоюдан әрі оларды танудан бас

тартуымен де шартталғанын атап өту қажет. Бұл жайт халықаралық құқық шеңберінде олардың құқықтарын қорғауды қамтамасыз етуге мүмкіндік бермеді [2, б. 14-68]. Әскери тұтқындардың тағдырын ғылыми пайымдау осы уақытқа дейін отандық тарих ғылымында да, қоғамдық-саяси өмірде өзектілігін жоғалтқан жоқ. Қазақстандық әскери тұтқындардың тағдырын іздестіру мен анықтау, сондай-ақ бұл мәселенің тарихын кешенді түрде зерттеу – соғыс құрбандарының рухы алдындағы азаматтық әрі моральдық парызымыз болып табылады.

Зерттеу әдістері мен материалдары

Зерттеу жұмысы әр жылдары әртүрлі құжаттар жинақтарының құрамдас бөлігі ретінде жарық көрген Беларусь Республикасының Ұлттық архиві (БРҰА) мен Ресей Федерациясының Мемлекеттік архивінен (РФМА) алынған жарияланған архивтік құжаттар кешеніне сүйенеді. Зерттеу үшін аса маңызды құжаттардың елеулі бөлігі [3], [4] сияқты еңбектерде жинақталған. Деректі материалдар мен бұрынғы тұтқындардың мемуарлық еңбектеріне негізделген бұл зерттеулер әскери тұтқындардың күнделікті тыныс-тіршілігінің ерекшеліктерін, оларды әртүрлі жұмыстарға пайдалану, тұтқындардың өлім-жітімі мен лагерь өмірінің өзге де көптеген аспектілерін айшықтап көрсетеді. Зерттеушілер үшін «Лагеря советских военнопленных в Беларуси 1941-1944: документы и материалы» [5] құжаттар жинағы маңызды мәліметтерді қамтиды. Ондағы деректерге талдау жасау № 352 шталаг комендатурасы бұйрықтарының сипаты мен бағыттылығын қарастыруға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, зерттеудің негізгі аспектілерін ашу мақсатында тарапымыздан Беларусь Республикасының Ұлттық архивінен (БРҰА) және Ресей Федерациясының Мемлекеттік архивінен (РФМА) архивтік құжаттар анықталып, ғылыми айналымға тартылды. Зерттеуде соғыс және соғыстан кейінгі кезеңдегі директивалық және статистикалық мәліметтер, бұйрықтар, хаттамалар, комендanttар мен өзге де әскери қызметшілердің қызметтік хат-хабарлары сияқты әртүрлі деректер пайдаланылды. Аталған құжаттар соғыстың бастапқы кезеңіндегі әскери тұтқындар лагерьлерін ұйымдастырудың шарттары мен ерекшеліктерін, олардың кейінгі тыныс-тіршілігін, лагерь әкімшілігінің кеңес әскери тұтқындарына деген көзқарасын айшықтап, фашистік тұтқындағы тұтқындар тағдырының қасіретін ашып көрсетеді. Мемуарлық және өмірбаяндық сипаттағы дереккөздерді пайдалану Ұлы Отан соғысы кезеңіндегі оқиғаларды нақты әрі объективті түрде пайымдау мен бағалау мақсатында жекелеген деректерді архивтік мәліметтермен салыстыра талдауға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында кеңес әскери тұтқындарының тұтқында болу кезеңіндегі деректер мен оқиғаларды дәйекті түрде талдау үшін тарихи-хронологиялық тәсіл қолданылды. Тұжырымдамалық-құрылымдық және функционалдық әдіс қоңыс аударылған және стационарлық лагерьлерді қалыптастыру ерекшеліктерін, сондай-ақ комендanttар мен лагерь әкімшілігінің функционалдық міндеттерін айқындауға мүмкіндік берді. Салыстырмалы-тарихи әдіс Беларусь аумағындағы әртүрлі лагерьлердегі кеңес әскери тұтқындары жағдайының өзгешеліктерін анықтауға жағдай жасады. Ал Қазақстаннан шақырылған жауынгерлердің тағдырын, олардың өлім-жітімін анықтау барысында өмірбаяндық тәсіл қолданылды.

Талқылау

Жау қолына тұтқынға түсу – әскери тұтқындар жағдайының қасіретті сипатын айқындап берді. Әскери тұтқындардың ары қарайғы тағдыры көбіне олардың қай мемлекеттің тұтқынына түскеніне, сондай-ақ сол елдің халықаралық құқық нормалары мен заңнамаларын қаншалықты сақтағандығына тікелей байланысты болды. Кеңес

әскери тұтқындарының тағдырына халықаралық құқықтың құқықтық қорғау тетіктері елеулі ықпал етуі мүмкін еді. Тұтқындармен қарым-қатынас жасаудың халықаралық ережелері 1899 жылғы Гаага конференциясында (Ресейдің бастамасымен шақырылған) бекітілген болатын. Осыған байланысты Германия Бас штабы тұтқындардың негізгі құқықтарын сақтайтын нұсқаулық әзірлеген болатын. Тіпті әскери тұтқын қашуға әрекеттенген жағдайдың өзінде де, ол тек тәртіптік жазаға ғана тартылуы тиіс еді. Бірінші дүниежүзілік соғыс барысында бұл ережелердің бұзылу фактілері орын алғанымен, олардың заңды мәні мен мазмұны ешбір тараптан күмәнға алынған жоқ.

1929 жылғы шілдеде Женевада гуманитарлық құқықтың үш жаңа келісіміне қол қойылды: «Әрекеттегі әскерлердегі жаралылар мен аурулардың жағдайын жақсарту туралы» (1864/1906 жж. тиісті келісімнің жаңартылған нұсқасы), «Әскери-теңіз флотындағы жаралылардың, аурулардың және кеме апатынан зардап шеккендердің жағдайын жақсарту туралы» және «Әскери тұтқындармен қарым-қатынас жасау туралы» конвенциялар.

Конвенция авторлары онда 1907 жылғы Гаага келісімімен салыстырғанда маңызды жаңашылдықты бекітті. Атап айтқанда, 82-бап тармағында: «Егер соғыс жағдайында соғысушы тараптардың бірі осы конвенцияға қатысушы болып табылмаса да, осы құжаттың ережелері оған қол қойған барлық соғысушы тараптар үшін міндетті болып қала береді», – деп көрсетілген [2, с.28].

Кеңестік әскери тұтқындардың қасіреті ұзақ уақыт бойы Кеңес Одағы азаматтарының бұқаралық санасынан тыс қалып келді, бұған белгілі бір себептер негіз болды. КСРО дәуірінде ғалымдар бұл тақырыпқа бойлаған жоқ, өйткені бұл мәселені тереңдетіп зерттеу соғыстың алғашқы кезеңіндегі Қызыл армияның ірі жеңілістері мен кеңес әскери қызметшілерінің жаппай тұтқынға түсу себептерін бірден күн тәртібіне шығаратын еді. Осыған орай, аталған кезеңдегі басым бағыттардың бірі – тұтқындардың нацистік лагерьлердегі партизандық және астыртын күреске қатысуын, соның ішінде партизандық қозғалысты өрістетуді қамтитын қарсылық көрсету мәселесін зерделеу болып танылады. КСРО кезеңінде тұтқынға түсіп, кейіннен Қарсылық көрсету қозғалысына қатысқан қазақстандықтардың тарихының түрлі аспектілеріне П.С. Белан, М.Қ. Қозыбаев, Ғ.Ә. Әбішев, Қ.С. Алдажұманов және басқа да зерттеушілер өз еңбектерін арнады. Сонымен қатар И.И. Маляр еуропалық елдердегі партизандық қозғалысқа қазақстандықтардың қатысуы туралы жарияланым арнаған болатын [6].

1970–1980 жылдары соғыс тұтқындарының фашистік қарсылық көрсету қозғалысына қатысу тақырыбын зерттеу одан әрі жалғасты. М.И. Семиряганың зерттеуіндегі бөлімдердің бірі кеңестік әскери тұтқындар лагерьлеріне, оларды физикалық тұрғыдан жоюға және оларға адамгершілікке жатпайтын қатыгез қарым-қатынас жасау мәселесіне арналған [7].

Соғыс тұтқындары мәселесін зерттеудегі жаңа кезең 1991 жылдан, яғни, зерттеушілерге жасалатын идеологиялық бақылау жойылған сәттен бастау алады. КСРО ыдырағаннан кейін әртүрлі елдердің архив қоймаларынан көптеген құжаттар мен қорлар жариялана бастады. Мәселен, «Военно-исторический журнал» басылымында зерттеуші Н.П. Дембицкий Империялық қауіпсіздік бас басқармасының бастығы Р. Гейдрихтің 1941 жылғы 17 шілдедегі соғыс тұтқындарына деген қарым-қатынасты жақсарту туралы бұйрығын жариялады, бұл соғыстың алғашқы айларында олардың жағдайының апатты дәрежеде болғандығын мойындауды білдіреді [8, с. 35-40].

Мәселені қарастыруда неміс ғалымы Кристиан Штрайттың орыс тіліне аударылған, Германиядағы кеңестік әскери тұтқындардың тұтқында болуының көптеген аспектілерін

ашатын еңбегі маңызды болып табылады [9]. Соғыс тұтқындарының тарихын зерттеуге поляк зерттеушілері де өз үлестерін қосуда. Мәселен, Я. Войтвочак өңдеген мақалалар жинағы Польша аумағындағы концлагерьлердегі кеңестік әскери тұтқындар өмірінің көптеген қырларын айқындайды [10].

Қазақстан Республикасында қазақстандық әскери тұтқындар тарихының түрлі аспектілеріне Б.И. Садықова [11], Б.Ғ. Аяған [12], С. Бекенов [13], Г.Қ. Көкебаева [14] өз еңбектерін арнады. Олар жаңа архивтік материалдар негізінде Түркістан легионының құрылу тарихын, нацистік биліктің әскери тұтқындар арасында жүргізген саясатын, олардың құрамын және басқа да көптеген аспектілерді айқындайды.

Ресейлік тарихшылар да КСРО ыдырағаннан кейін осы мәселені зерттеуге белсене араласты. Кеңестік әскери тұтқындардың тұтқындағы өмірін зерттеуге П.М. Полян [15], В.Н. Земсков [16], Г.Ф. Кривошеев, В.М. Андронников, П.Д. Буриков, В.В. Гуркин [17] өз үлестерін қосты. Олардың еңбектері кеңестік әскери тұтқындардың санын, өлім-жітім көрсеткішін, коллаборационизмді, репатриацияны, сондай-ақ концлагерьлердегі ұстау жағдайларын анықтау мәселелерін зерделеуге арналған. Қазіргі уақытта жаңадан құпиясыздандырылған дереккөздер пайда болып, әскери тұтқындардың естеліктері ғылыми айналымға енгізілуде. ТМД елдерінен қаза тапқан тұтқындардың туыстары әлі күнге дейін өз бабалары туралы мәліметтерді іздестіруде, бұл, сөзсіз, сонау қанды соғыстың жазықсыз құрбандары алдындағы парыз болып табылады.

Нәтижелер

1941–1945 жылдары кеңестік әскери тұтқындар қатты аштыққа ұшырап, адам төзгісіз тұрмыс жағдайларында өмір сүрді, тіпті жер кепелерде күн кешті және санитарлық-гигиеналық нормалардың жаппай бұзылуына тап болды. Тұтқынға түскеннен кейін ЖШҚӘ (Жұмысшы-шаруа Қызыл армиясы) әскери қызметшілері мен кеңестік партизандар қорқытулар мен азаптауларды қолдануды қоса алғанда, әскери сипаттағы мәліметтерді ашуға мәжбүрленді. Үшінші рейхтің бұйрықтарына сәйкес кеңестік әскери тұтқындардың белгілі-бір санаттары (еврейлер, партия қызметкерлері, комиссарлар, жиі офицерлер де) «іріктеуге» және атуға жатқызылды. Германия әскерлерінің майдан маңындағы өңірінде, жаяу марштар кезінде және «дулагтарда» жараланған әрі әлсіреген әскери тұтқындарды күзет орнында өлім жазасына кесті. Лагерьлердегі медициналық қызмет көрсету деңгейі ең төменгі дәрежеде болды. Жараланған және ауру тұтқындар әскери қажеттілік болмаса да, басқа лагерьлерге, соның ішінде Германия аумағына тасымалданудан босатылмады. Кеңестік тұтқындар «Рейхтің» әскери өнеркәсібіндегі мәжбүрлі еңбекке тартылды және демалыссыз жұмыс істеді. Барлық өнеркәсіп салаларында (металл өңдеу, химия және тау-кен өнеркәсібі, теміржол секторы, тиеу-түсіру жұмыстары) кеңестік тұтқындарға денсаулыққа зиянды жағдайларда еңбек етуге тура келді және техникалық қауіпсіздік нормалары сақталмады. «Айыпты» деп танылған кеңестік әскери тұтқындарға қатысты үкімдер «асығыс-үсігіс» орындалатын, ал тергеу мен сот әрекеттері ережеден гөрі сирек кездесетін ерекше жағдай еді. Әрбір лагерьде карцер немесе қатаң ұстауға арналған басқа да оқшауланған орын болды. Кеңестік әскери қызметшілерге қатысты дене жазалары, мысалы, жұмысқа шықпағаны үшін (тіпті ауырған немесе әрекеттерді физикалық тұрғыдан орындау мүмкін болмаған жағдайда да) немесе Орыс азаттық армиясы (РОА) мен басқа да коллаборационистік құрылымдарға кіруден бас тартқаны үшін барлық жерде кеңінен қолданылды. Кеңестік әскери тұтқындар жиі халықаралық құқық тұрғысынан оларды ұстауға арналмаған стационарлық қамау орындарына, мәселен, гестапо түрмелеріне және «Аса құпия» юрисдикциясындағы концлагерьлерге жіберіліп отырды [18, с. 79-90].

Кеңестік тұтқындардың отанға хат-хабар жіберуге мүмкіндігі болмады. КСРО мемлекеттік құрылымдары да, олардың отбасылары да тұтқындардың қайда екенінен хабарсыз еді. Әйел әскери тұтқындары зорлық-зомбылық пен қорлауға ұшырады. Осылайша, вермахт пен Германия басшылығы Гаага және Женева конвенцияларының көптеген ережелерін саналы әрі мақсатты түрде бұзды.

Ұлы Отан соғысындағы кеңестік әскери тұтқындардың нақты саны осы күнге дейін белгісіз. Германия қолбасшылығының мәліметтері бойынша бұл көрсеткіш 5 миллион 270 мыңға дейін жетеді. Дегенмен, Гаага және Женева конвенцияларын бұза отырып, неміс билігі әскери тұтқындардың құрамына ЖШҚӘ сарбаздары мен офицерлерін ғана емес, сонымен бірге партия органдарының қызметкерлерін, партизандарды, астыртын ұйым мүшелерін, сондай-ақ кеңес әскерлерімен бірге шегінген 16 мен 55 жас аралығындағы барлық ер-азаматтарды енгізгенін ескерген жөн. Гитлерлік концлагерьлердегі кеңестік әскери тұтқындар арасындағы өлім-жітім, әсіресе соғыстың алғашқы айларында, тым жоғары болды. Қарапайым физикалық тұрғыдан аман қалудың жолдарының бірі – жаппай қашу әрекеттері еді. Мәселен, кеңес аумағында орналасқан лагерьлерден 490 441 адам, ал Польша мен Германия лагерьлерінен 534 616 адам сәтті қашып шықты [14, с.165–166].

Кеңестік әскери тұтқындардың ең көп үлесі 1941–1942 жылдарға келеді. Тіпті, 1941 жылғы қыркүйектегі сәтсіз Киев қорғаныс операциясынан кейін неміс тұтқынында ЖШҚӘ-нің 665 мыңға жуық сарбазы мен офицері қалды, ал 1942 жылғы мамырдағы Харьков операциясының сәтсіздігінен соң 240 мыңнан астам қызылжауынгер тұтқынға түсті. Мәселен, 106-шы Ақмола қазақ ұлттық кавалериялық дивизиясы 1942 жылғы мамырда дерлік толығымен жойылды. Олардың аман қалғандары фашистік тұтқынға түсіп, «Дулаг – 205» неміс лагерінде ұсталды [14, с. 17–18].

Архивтік құжаттар, схемалар, фотосуреттер және бұрынғы әскери тұтқындардың естеліктері лагерьлер туралы келесі түсінік береді. Әскери тұтқындарға арналған стандартты барактар сырттай көкөніс қоймаларына ұқсайтын. Қабырғалары үйілген топырақтан тұрғызылып, оның үстіне екі мұржасы бар шатыр орнатылған, ал қалған бөлігі жер астында жасырылған еді. Жарық болмады, ол жаққа сәуле тек ашық есіктер арқылы ғана түсетін. Барактың ішінде ені бір де бір жарым метр болатын ұяшықтарға бөлінген төрт кабатты сөрелер орналастырылды. Сөрелер арасындағы өткелдерді де, әдетте, адамдар алып жататын. Әскери тұтқындарға бір-біріне тығыз сүйеніп, қырынан жатуға тура келді. Куәгер Н.В. Алексеев 1941 жылдың қазанында тұтқындарды үш ярусты сөрелер орнатылған атқораға орналастырғанын атап өткен болатын. Көптеген тұтқындар еденде, сөрелердің астындағы өткелдерде жататын [4, 5-б.]. Тұтқынның алғашқы айларында кеңестік әскери тұтқындар тікенек сымның бірнеше қатарымен қоршалған аумақта, жай ғана ашық аспан астында ұсталды. Бұған «Я» округінің әскери тұтқындар лагерьлері комендантының 1941 жылғы 18 қыркүйектегі Бобруйск қ. № 314, Жлобин қ. № 130 және Гомель қ. № 220 дулагтарын инспекциялау туралы баяндамасы» куә болады. Онда, атап айтқанда, былай делінген: «Бұл күйдегі лагерь қазіргі уақытта әскери тұтқындарды қысқы жағдайда ұстауға жарамсыз. Қазіргі таңда әскери тұтқындар ашық аспан астында, батпақта орналасқан» [19, Л. 87-92].

Тұтқындардың жағдайы мен лагерьлердегі кеңестік әскери тұтқындарды ұстау шарттары өте ауыр болды. Лагерьлердегі ішкі тәртіпті лагерь комендатурасы реттеп отырды. Мысалы, № 337 шталагтың әрбір барағында арнайы құжат орнатылды, соған сәйкес әрбір неміс сарбазына әскери сәлем беру міндеттелді, керісінше жағдайда қамшымен сабау жазасы қолданылатын. Арыз-шағымдар мен мүлікті бүлдіргені үшін де

қамшымен жазалайтын. Әскери тұтқындардың барлық дерлік лагерінде олар дене жазасына ұшырайтын орын (карцер) болды. Мысалы, № 352 шталагтағы карцер ауданы 1,5х2 м, едені цементтен құйылған, төбесі жоқ бөлме еді, ал шатырдың орнына 1 м 30 см биіктікте сым тартылған болатын. Адам карцерге еңбектеп кіретін, онда тік тұра алмайтын және қар мен жаңбырдан мүлде қорғалмаған еді [20, Л. 14].

Соғыс барысында кеңестік әскери тұтқындарға қатыгездікпен қарау деңгейі уақыт өткен сайын өсе түсті, өйткені герман әскерлерінің КСРО аумағындағы жеңісті жорығы жүзеге аспай қалды. Кеңес сарбаздары мен офицерлері еуропалық елдерден түскен әскери тұтқындарға қарағанда әлдеқайда ауыр жағдайда болды.

«Блицкригтің» сәтсіздікке ұшырауы әскери тұтқындарға қатысты мәселелер кешенін ушықтыра түсті және оларға экономикалық ресурс ретінде қарауды көздеді, ал олардың өмірі тікелей еңбек өнімділігі мен оларды ұстаудың тиімділігіне байланысты болды. Мысалы, вермахттың 1942 жылғы 24 наурыздағы № 695 «Әскери тұтқындарға қатысты қарым-қатынас» туралы бұйрығына сәйкес, кеңестік әскери тұтқындардың еңбегін пайдалану қатаң бақылауда ұсталды. Жұмысты дұрыс жасамағаны үшін қатаң жаза қолданылды. Егер әскери тұтқындар «салғырттық» немесе «бағынбаушылық» танытса, оларға қатысты қатаң шаралар қолдану тапсырылды. «Әскери тұтқындарға «қамқорлық жасау» емес, талап етілетін ең жоғары өнімділікке қол жеткізу үшін тиісті түрде қарым-қатынас жасау керек», – деп көрсетілген Әскери тұтқындар істері жөніндегі бастық Греневитцтің бұйрығында [21, 71-п.]. Лагерь режимінен әлсіреп, азапталған әскери тұтқындар ауыр жұмыстарға жегілді.

Соғыс жағдайында әскери тұтқындардың аман қалу мәселесі толығымен тамақтану нормалары мен азық-түлікпен қамтамасыз етілуіне байланысты болды. КСРО-мен соғыстың ең басында Германия әскери тұтқындар үшін қандай да бір бірыңғай тамақтану нормаларын бекітпеді. Вермахттың бұйрықтары мен директиваларында Кеңес Одағы 1929 жылғы 27 шілдедегі әскери тұтқындарға қатысты қарым-қатынас туралы келісімге (Женева конвенциясы) қосылмағаны, соған байланысты кеңестік әскери тұтқындарды осы шартқа сәйкес келетін мөлшердегі әрі сападағы азық-түлікпен қамтамасыз ету міндеттемелері жоқ екені баса айтылды. Құнарлылығы бойынша рациондар 2040 калорияға, ал жұмысқа жегілген тұтқындар үшін шамамен 2200 калорияға сәйкес келді. Азық-түлік қоймаларынан емес, сапасы төмен өнімдерді пайдалану қажет еді [9, 146-б.]. Осы ұстанымды басшылыққа ала отырып, әрбір лагерьде комендант тамақтану үшін берілетін өнімдердің тізбесін, сапасын және мөлшерін өз бетінше белгіледі. Тамақпен қамтамасыз етуде көп нәрсе сол лагерьдің қай жерде орналасқанына, жабдықтауға арналған көліктік логистикаға, сондай-ақ сол жергілікті жердің жағдайында қандай да бір өнімдермен қамтамасыз ету мүмкіндіктеріне байланысты болды. Мәселен, № 352 шталаг бойынша 1941 жылғы 16 қыркүйектегі № 20 бұйрыққа сәйкес әскери тұтқындар үшін өнімдердің келесі нормалары белгіленді: жұмыс істейтіндер үшін нан – 320 г, жұмыс істемейтіндер үшін – 160 г.; жарма: барлық әскери тұтқындар үшін күн сайын – 25 г, ет (сүйегімен) – 10 г, қант – 5 г, ұн – 30 г. Бұдан бөлек, нан пісіру үшін 75 кг ұнға 1 кг тұз берілсін. Комендант подполковник Осфельд [22, 17-18-п.]. Іс жүзінде тамақтану мынадай көрініс тапты: «Әскери тұтқындардың тәуліктік рационы 80–100 г наннан және шірік картоптан сабан араластырып қайнатылған екі саптыаяқ баландадан тұрды» [23, 12-п.].

Әскери тұтқындарға медициналық қызмет көрсету мәселесінде ұлтшылдық әскери тұтқын жүйесі бұл істі іс жүзінде лагерь комендanttарының қарауына қалдырды. Мысалы, санитарлық қызметті ұйымдастыру мен оған басшылық ету неміс дәрігерлеріне

тапсырылса, әскери тұтқындарға тікелей қызмет көрсету – тұтқындар немесе азаматтық халық арасынан шыққан орыс дәрігерлеріне жүктелді. № 337 әскери тұтқындар лагерінің бұрынғы тұтқыны, дәрігер С.С. Скрипчук өзінің естелігінде былай деп атап өткен еді: «Аурулар үшін ешқандай таңу материалы мен дәрі-дәрмек бөлінбейтін. Баракта паразиттерге толы, лас, ал қыста суық болатын. Лагерьдегілерге өлген жануарлардың шала шіріген өлекселерінен ет қайнатып беретін, мұндай етті жегеннен кейін тұтқындар арасында тырысқаққа ұқсас сұмдық ауру пайда болып, одан жүздеген адам көз жұматын». Осы ауруды зерттеу үшін 1942 жылы Германиядан лагерьге арнайы неміс дәрігерлері келген» [24, 1-3-п.]. Лагерьлердегі әскери тұтқындарға арналып ұйымдастырылған лазареттердің жағдайы қарапайым санитарлық нормаларға сай келмейтін. Ауыр жараланған, жұқпалы ауруға шалдыққан науқастарды бірге орналастыру, олардың лас сөрелерде таңусыз жатуы, дәрі-дәрмек пен білікті медициналық персоналдың тапшылығы әскери тұтқындардың жағдайын одан әрі ауырлата түсті. Мұндай жағдай жұқпалы аурулардың туындауына және сүзек эпидемиясының таралуына ықпал етті. Әскери тұтқындардың басым бөлігі 1941–1942 жылдардың күз-қыс мезгілінде, оларды орналастыру жағдайлары мүшкіл күйде болған кезеңде қаза тапты.

Адам төзгісіз еңбек жағдайлары салдарынан кеңестік әскери тұтқындар арасындағы өлім апатты жағдайда болды. Әскери тұтқындардың өліміне олардың физикалық жағдайы әсер етті, ал ол келесі жағдайларға байланысты еді: әскери тұтқынның денсаулығы, лагерьдегі санитарлық-эпидемиологиялық жағдай, еңбектің сипаты, ерекшелігі мен шарттары, тұтқындарды азық-түлікпен қамтамасыз ету.

Беларусь Республикасы Ұлттық архивінің (БРҰА) Орман лагері /№352 Шталаг/ бойынша құжаттамалық түрде тіркелген қаза тапқан кеңестік әскери тұтқындар туралы 6 кітаптың тізімі негізінде жасалған көптеген құжаттарының бірі келесі мәліметтерді айғақтайды: құжаттар бойынша қаза тапқандардың жалпы саны – 9354 адам.

Құжатты Сот медицинасы институтының ғылыми қызметкерлері 1945 жылдан кейін құрастырған [25, 4-п.].

Құжат 1941–1944 жылдары 352-Шталаг лазаретінде қайтыс болғандарды тіркеу журналы болып табылады. Журналда үш бағаннан тұратын кесте түріндегі тізім берілген: бірінші баған – өлім туралы жазбаның нөмірі, екінші баған – әскери тұтқынның жеке мәліметтері және оның өлім себебі, үшінші баған – әскери тұтқынның өлімі негізге алынып тіркелген жазба. Өлімді тіркеуге мынадай құжаттар негіз болған: «Лагерь-лазарет» дәрігерінің актілері; Медальондағы жазба; Кезекші дәрігердің рапорттары мен актілері немесе әскери тұтқынның белгіленген нөмірі бар ауру тарихы.

Жоғарыда аталған Тізімдердегі 159, 160, 161, 162, 163, 164, 175-істерде аурудан қаза тапқандардың тегі арасында Қазақстаннан шыққан әскери тұтқындар да бар. № 159 іште – Қазақстаннан 7 әскери тұтқын; № 160 іште – 11 әскери тұтқын; № 161 іште – 6; № 162 іште – 29; № 163 іште – 5; № 164 іште – 6; № 175 іште – 12. Барлығы – 76 адам. Олардың басым бөлігі келесі себептерге байланысты қайтыс болған: дистрофия – арықтау, асқазан аурулары, сүзек, туберкулез т.б. [26]. Лагерьде аурудан қайтыс болғандардың бәрінің бірдей туған жері жазылмаған, осыған байланысты ҚазКСР-нен шыққан әскери тұтқындарды нақты анықтау белгілі бір қиындықтар туғызады, өйткені олар кеңестік әскери тұтқындар ретінде объективті түрде Қазақстанда туғандар болуы да немесе туған жерін емес, әрекеттегі армияға шақырылған жерін көрсетуі де мүмкін. Архивтік құжаттарды анықтау және ғылыми айналымға енгізу Екінші дүниежүзілік соғыстың құрбаны болған Қазақстанда туған азаматтардың қандай азаптардан өткені туралы түсінікті кеңейтуге мүмкіндік береді.

Қорытынды

Ұлы Отан соғысы кезеңінде кеңестік әскери тұтқындарға қатысты фашистік Германия тарапынан халықаралық құқық нормалары мен жалпыадамзаттық гуманизм принциптері мүлде қолданылмады. Фашистік Германия құрған лагерьлерде оккупациялық билік әзірлеген, әскери тұтқындарды ұстауды регламенттейтін бірыңғай нормативтік құжаттар қолданыста болды. Соғыстың алғашқы күндерінен бастап-ақ фашистік Германияның лагерь жүйесі тұтқындарды минималды азық-түлікпен және киім-кешекпен қамтамасыз етуге, әскери тұтқындарға формальды түрде медициналық қызмет көрсетуге негізделіп жұмыс істеді. Беларусь аумағында ұйымдастырылған лагерьлердегі әскери тұтқындардың арасында сол жылдары қаза тапқандар мен аман қалғандардың тауқыметін бөліскен Қазақстаннан шыққан әскери қызметшілер де болды. Архивтік құжаттарды мұқият талдаудың арқасында түрлі аурулар мен жүдеуден қайтыс болған 76 казахстандықтың тегін анықтау мүмкін болды. Оккупациялық биліктің түпкі мақсаты кеңестік әскери тұтқындардың еңбегін барынша пайдалану және лагерь администрациясына кішкентай да болсын қарсылық білдірген жағдайда оларды жойып жіберу еді. Соғыстан кейін соғыс кезеңіндегі қылмыстарды зерттеу бойынша құрылған кеңестік комиссиялардың актілері фашистік Германияның кеңестік әскери тұтқындарға қатысты антигумандық саясатын толық дәлелдейді.

Алғыс айту. Мақала ҚР ҒЖБМ ҒК ИРН AP26102953 «Польша, Ресей, Украина, Беларусь және Балтық елдері аумағындағы фашистік концлагерьлерде қазақстандық әскери тұтқындардың тағдыры мен болу тарихы» ғылыми жобасы аясында дайындалған.

Әдебиет:

1. Словарь международного права. - Москва: Международные отношения, 1982. - 243 с.
2. Материалы Государственной комиссии по полной реабилитации жертв политических репрессий 20-50-х годов XX века. Т. VIII: Военнопленные-казахстанцы Второй мировой войны: сб. док. и материалов / Сост.: Г.К. Кокебаева, К.Ш. Алимгазинов, Н.Т. Асилов, Е.Б. Бятов; под общ. ред. Е.Т. Карина. - Астана: Институт истории и этнологии им. Ч.Ч. Валиханова; Проектный офис Государственной комиссии; ТОО «Литера-М», 2022. - 200 с.
3. Преступные цели – преступные средства: документы об оккупационной политике фашистской Германии на территории СССР (1941-1944 гг.) / Сост. Г.Ф. Заставенко и др. - Москва: Экономика, 1985. - 325 с.
4. Масюковщина: Шталаг-352, 1941-1944: документы и материалы / Сост. Р.А. Черноглазова. - Минск: Четыре четверти, 2005. - 198 с.
5. Лагеря советских военнопленных в Беларуси: 1941-1944: документы и материалы. / Сост.: В.Д. Селеменев. - Минск: «Беларусь», 2022. - 327 с.
6. Маляр И.И. Участие казахстанцев в европейском Движении Сопротивления // Петров И.И. Всегда начеку. - Алма-Ата, 1971. - С. 160-168
7. Семиряга М.И. Советские люди в европейском Сопротивлении. - Москва: Наука, 1970. - 351 с.
8. Дембицкий Н.П. Германии не нужны азиаты // Военно-исторический журнал. – 1997. – № 5. – С. 35-40.
9. Штрайт К. «Они нам не товарищи». Вермахт и советские военнопленные в 1941-1945 гг. - М.: Русская панорама, 2009. - 480 с.
10. Советские военнопленные во время Второй мировой войны на польских землях: сб. ст. / науч. ред. Я. Войтковяк; пер. М.А. Крисань. – СПб.: Алетейя, 2018. - 196 с.
11. Садыкова Б.И. История Туркестанского легиона в документах. - Алматы: Кайнар, 2002. - 248 с.
12. Аяган Б. Красные и черные: материалы Гуверовского архива. – Алматы, 2005. - 240 с.
13. Бекенов С. Қазақ тұтқыны. / Бас ред. Б. Аяған. – Алматы: Қазақ энциклопедиясы, 2007. - 256 б.

14. Кокебаева Г.К. Германия – Россия – СССР: политика, война и плен. - Алматы: Қазақ университеті, 2009. - 345 с.
15. Полян П.М. Жертвы двух диктатур: жизнь, унижения и смерть советских военнопленных и остарбайтеров на чужбине и на родине. - М., 2002. - 978 с.
16. Земсков В.Н. Возвращение советских перемещенных лиц в СССР: 1944-1952 гг. // Труды Института Российской истории РАН. - М., 2013. Вып. 11. С. 244-284
17. Кривошеев Г.Ф., Андроников В.М., Буриков П.Д., Гуркин В.В. Великая Отечественная без грифа секретности. Книга потерь. – М.: «Вече», 2025. - 384 с.
18. Стратиевский Д. Советские военнопленные Второй мировой и гуманитарное право. Могла ли Москва спасти своих граждан? // Журнал российских и восточноевропейских исследований. - 2014. - № 1(5). - С. 79-90.
19. НАРБ. Ф. 1440. Оп. 3. Д. 917. Л. 87-92
20. НАРБ Ф. 845. Оп. 1 Д.1. Л.14).
21. ГАРФ. Ф.7445. Оп. 2. Д. 140. Л. 71
22. НАРБ. Ф. 4083. Оп. 3. Д. 918. Л. 17-18
23. НАРБ. Ф. 845. Оп. 1. Д. 11 Л. 12
24. НАРБ. Ф. 861. Оп. 1. Д. 1. Л.1-3
25. ГАРФ.Ф. р-7021. Оп.87. Д.137. Л.4
26. ГАРФ. Ф. р-7021. Оп. 87. Д.159. Лл. 11 - 207; Д.160. Лл .49- 259; Д.161. Лл.10-208; Д.162. Лл. 22-225; Д.163. Лл.58-259; Д.164. Лл.10-244; Д.175. Лл.2- 65.

References:

1. Slovar’ mezhdunarodnogo prava. - Moscow: Mezhdunarodnye otnosheniya, 1982. - 243 p.
2. Materialy Gosudarstvennoi komissii po polnoi reabilitatsii zhertv politicheskikh repressii 20–50-kh godov XX veka. Vol. VIII: Voennoplennye-kazakhstantsy Vtoroi mirovoi voiny: sb. dok. i materialov. / Sost. G.K. Kokebaeva et al.; ed. E.T. Karin. - Astana, 2022. - 200 p.
3. Prestupnye tseli – prestupnye sredstva: dokumenty ob okkupatsionnoi politike fashistskoi Germanii naterritorii SSSR (1941–1944 gg.) / Sost. G.F. Zastavenko et al. - Moscow: Ekonomika, 1985. - 325 p.
4. Masyukovshchina: Shtalag-352, 1941–1944: dokumenty i materialy [Masyukovshchina: Stalag-352, 1941–1944: Documents and Materials]. / Sost. R.A. Chernoglazova. - Minsk: Chetyre chetverti, 2005. - 198 p.
5. Lagerya sovetskikh voennoplennykh v Belarusi: 1941–1944: dokumenty i materialy. / Sost. V.D. Selemenev. - Minsk: Belarus, 2022. - 327 p.
6. Malyar I.I. Uchastie kazakhstantsev v evropeiskom Dvizhenii Soprotivleniya. // Petrov I.I. Vsegda nacheku. - Alma-Ata, 1971. - P. 160–168.
7. Semiryaga M.I. Sovetskie lyudi v evropeiskom Soprotivlenii. - Moscow: Nauka, 1970. - 351 p.
8. Dembitskii N.P. Germanii ne nuzhny aziaty. // Voenno-istoricheskii zhurnal.
9. Streit C. «Oni nam ne tovarishchi». Vermakht i sovetskie voennoplennye v 1941–1945 gg. - Moscow: Russkaya panorama, 2009. - 480 p.
10. Sovetskie voennoplennye vo vremya Vtoroi mirovoi voiny na pol’skikh zemlyakh: sb. statei / nauch. red. J. Wojtkowiak. – SPb.: Aleteiya, 2018. - 196 p.
11. Sadykova B.I. Istoriya Turkestanskogo legiona v dokumentakh. - Almaty: Kainar, 2002. - 248 p.
12. Ayagan B. Krasnye i chernye: materialy Guverovskogo arkhiva. - Almaty, 2005. - 240 p.
13. Bekenov S. Qazaq Tutqyny. Bas. red. B. Ayagan. - Almaty: Qazaq Entsiklopediyasy, 2007. – 256 p.
14. Kokebaeva G.K. Germaniya – Rossiya – SSSR: politika, voina i plen. - Almaty: Qazaq universiteti, 2009. - 345 p.
15. Polyan P.M. Zhertvy dvukh diktatur: zhizn’, unizheniya i smert’ sovetskikh voennoplennykh i ostarbaiterov na chuzhbine i na rodine. - Moscow, 2002. - 978 p.
16. Zemskov V.N. Vozvrashchenie sovetskikh peremeshchennykh lits v SSSR: 1944–1952 gg. // Trudy Instituta rossiiskoi istori i RAN. - Moscow, 2013. Issue 11. P. 244–284.
17. Krivosheev G.F., Andronikov V.M., Burikov P.D., Gurkin V.V. Velikaya Otechestvennaya bez grifa sekretnosti. Kniga poter’. - Moscow: Veche, 2025. - 384 p.
18. Stratievsky, D. Soviet POWs of World War II and Humanitarian Law. Could Moscow Have Saved Its Citizens? // Journal of Russian and East European Studies. - 2014. - No. 1(5). - Pp. 79–90.
19. NARB (National Archives of the Republic of Belarus). F. 1440. Op. 3. D. 917. L. 87–92.
20. NARB. F. 845. Op. 1. D. 1. L. 14.

21. GARF (State Archive of the Russian Federation). F. 7445. Op. 2. D. 140. L. 71.
22. NARB. F. 4083. Op. 3. D. 918. L. 17–18.
23. NARB. F. 845. Op. 1. D. 11. L. 12.
24. NARB. F. 861. Op. 1. D. 1. L. 1–3.
25. GARF. F. R-7021. Op. 87. D. 137. L. 4.
26. GARF. F. R-7021. Op. 87. D. 159. Ll. 11–207; D. 160. Ll. 49–259; D. 161. Ll. 10–208; D. 162. Ll. 22–225; D. 163. Ll. 58–259; D. 164. Ll. 10–244; D. 175. Ll. 2–65.

Information about the authors

N.A. Abuov – Candidate of Historical Sciences, Director of the Branch of the Institute of History and Ethnology named after Ch. Valikhanov in Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: abuovnur@mail.ru; ORCID: 0000-0002-5843-3365;
A.N. Bekmurzina – Corresponding author, Master of Humanities, Senior Lecturer at the Department of «History of Kazakhstan and Law», Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petrolpavlovsk, Kazakhstan; e-mail: assel-2009@list.ru;
A.Kh. Alimzhanov – junior researcher Branch of the Institute of History and Ethnology named after Ch. Valikhanov in Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: aslan353@mail.ru; ORCID: 0009-0003-8149-331X.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-214-228
УДК 338.516
МРНТИ 68.39.29

ФАКТОРЫ РОСТА ВНУТРЕННИХ ЦЕН НА ГОВЯДИНУ В КАЗАХСТАНЕ

Насуханов И.М.[1*], Протасова О.В.[1]
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[*]Автор для корреспонденции: nasukhanov99@bk.ru

Аннотация

За 2016–2025 гг. розничные цены на говядину в Казахстане выросли почти втрое – с 1245 до 3515 тенге за килограмм (в сопоставимых ценах 2016 г. – примерно на 28%), несмотря на двукратный рост поголовья КРС мясного направления.

Цель исследования – выявить и количественно оценить факторы, определяющие динамику внутренних цен на говядину в Казахстане.

Использованы данные Бюро национальной статистики РК за 2016–2025 гг. о производстве говядины, поголовье КРС, розничных ценах, индексе потребительских цен и внешней торговле. Применены корреляционный, динамический и структурный анализ; цены рассмотрены в номинальном и реальном выражении.

Производство говядины на одну голову КРС мясного направления сократилось более чем вдвое – с 212 до 104 кг, а экспорт говядины вырос почти в 20 раз. В номинальных ценах оба показателя тесно связаны с розничной ценой ($r_3 = –0,95$; $r_1 = 0,96$), однако после устранения инфляции все парные связи статистически незначимы ($|r'| \leq 0,57$); для чистого экспорта связь ещё слабее ($r_4 = 0,80$; $r'_4 = 0,17$). Корреляция сама по себе не доказывает причинно-следственной зависимости.

Средняя экспортная цена (около 4 долл./кг) ниже внутренней розничной (около 7 долл./кг), хотя премиальные партии экспортируются по цене до 14 долл./кг.

Номинальный рост цен примерно на три четверти обусловлен инфляцией, а рост поголовья не транслируется в пропорциональный прирост предложения на организованном рынке – вероятно, из-за омоложения стада, вывоза КРС в живом виде и потребления в хозяйствах населения. Роль экспорта говядины ограничена: до 2022 г. Казахстан был её нетто-импортёром, а чистый экспорт в 2025 г. составил лишь 3,7% производства.

Ключевые слова: рынок говядины, производство говядины, экспорт говядины, цены на говядину, мясное скотоводство, корреляционный анализ.

ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ СИЫР ЕТІНІҢ ІШКІ БАҒАСЫНЫҢ ӨСУ ФАКТОРЛАРЫ

Насуханов И.М.[1*], Протасова О.В.[1]
[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: nasukhanov99@bk.ru

Андатпа

2016–2025 жылдары Қазақстанда сиыр етінің бөлшек сауда бағасы үш есеге жуық өсті – килограмы 1245 теңгеден 3515 теңгеге дейін (2016 жылғы салыстырмалы бағаларда – шамамен 28%-ға), бұл етті бағыттағы ірі қара мал басының екі есе артуы жағдайында болды.

Зерттеудің мақсаты – Қазақстандағы сиыр етінің ішкі бағасының динамикасын айқындайтын факторларды анықтау және сандық тұрғыда бағалау.

ҚР Ұлттық статистика бюросының 2016–2025 жылдардағы сиыр еті өндірісі, ірі қара мал басы, бөлшек сауда бағалары, тұтыну бағаларының индексі және сыртқы сауда бойынша деректері пайдаланылды.

Корреляциялық, динамикалық және құрылымдық талдау қолданылды; бағалар номиналды және нақты көрініс қарастырылды.
Етті бағыттағы ірі қара малдың бір басына шаққандағы сиыр еті өндірісі екі еседен астам – 212 кг-нан 104 кг-ға дейін қысқарды, ал сиыр еті экспорты шамамен 20 есе өсті. Номиналды бағаларда екі көрсеткіш те бөлшек сауда бағасымен тығыз байланысты ($r_3 = –0,95$; $r_1 = 0,96$), алайда инфляция алынып тасталғаннан кейін барлық жұптық байланыстар статистикалық тұрғыдан маңызсыз ($|r'| \leq 0,57$); таза экспорт үшін байланыс одан да әлсіз ($r_4 = 0,80$; $r'_4 = 0,17$). Корреляция өздігінен себеп-салдарлық байланысты дәлелдемейді.
Орташа экспорттық баға (шамамен 4 АҚШ долл./кг) ішкі бөлшек сауда бағасынан (шамамен 7 АҚШ долл./кг) төмен, дегенмен жоғары сапалы ет партиялары 14 АҚШ долл./кг-ға дейінгі бағамен экспортталады.
Бағалардың номиналды өсуінің шамамен төрттен үші инфляцияға байланысты, ал мал басының өсуі ұйымдасқан нарықтағы ұсыныстың пропорционалды өсуіне айналмайды, бұл табынның жасаруына, ірі қара малдың тірідей экспортына және халық шаруашылықтарындағы тұтынуға байланысты болуы мүмкін. Сиыр еті экспортының рөлі шектеулі: 2022 жылға дейін Қазақстан сиыр етінің таза импорттаушысы болды, ал 2025 жылы таза экспорт өндірістің небәрі 3,7%-ын құрады.

Кілт сөздер: сиыр еті нарығы, сиыр еті өндірісі, сиыр еті экспорты, сиыр еті бағасы, ет бағытындағы мал шаруашылығы, корреляциялық талдау.

FACTORS DRIVING THE GROWTH OF DOMESTIC BEEF PRICES IN KAZAKHSTAN

I.M. Nassukhanov[1*], O.V. Protasova[1]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: nasukhanov99@bk.ru

Abstract
In 2016–2025, retail beef prices in Kazakhstan nearly tripled – from 1,245 to 3,515 tenge per kilogram (by about 28% in constant 2016 prices) – despite a twofold growth in the beef cattle herd.
The aim of the study is to identify and quantitatively assess the factors driving domestic beef prices in Kazakhstan. The study uses 2016–2025 data from the Bureau of National Statistics of the Republic of Kazakhstan on beef production, cattle population, retail prices, the consumer price index and foreign trade. Correlation, dynamic and structural analysis were applied; prices were examined in nominal and real terms.
Beef production per head of beef cattle more than halved – from 212 to 104 kg – while beef exports grew almost twentyfold. In nominal terms, both indicators are closely related to retail prices ($r_3 = –0.95$; $r_1 = 0.96$), but after removing inflation all pairwise relationships become statistically insignificant ($|r'| \leq 0.57$); for net exports the link is even weaker ($r_4 = 0.80$; $r'_4 = 0.17$). Correlation does not by itself prove causality.
The average export price (about 4 USD/kg) is below the domestic retail price (about 7 USD/kg), although premium shipments are exported at up to 14 USD/kg.
About three quarters of nominal price growth is attributable to inflation, while herd growth does not translate into a proportional increase in supply on the organized market, likely due to herd rejuvenation, live cattle exports and on-farm consumption in household farms. The role of beef exports is limited: Kazakhstan was a net importer of beef until 2022, and in 2025 net exports amounted to only 3.7% of production.

Keywords: beef market, beef production, beef exports, beef prices, beef cattle farming, correlation analysis.

Введение

Говядина занимает особое место в рационе казахстанцев: страна располагает одними из крупнейших в мире пастбищных угодий – свыше 180 млн гектаров, – что исторически предопределило мясное скотоводство как базовую отрасль сельского хозяйства.

На этом фоне тем более показательна ценовая динамика последнего десятилетия: поголовье КРС мясного направления с 2016 по 2025 год удвоилось, тогда как розничные цены на говядину за тот же период выросли почти втрое – с 1245 до 3515 тенге за килограмм.

По данным Бюро национальной статистики РК, производство говядины в убойном весе стабильно превышало 400 тыс. тонн ежегодно, достигнув пика в 544 тыс. тонн в 2023 году [1]. Однако в 2024–2025 годах оно резко сократилось – до 429–435 тыс. тонн – несмотря на продолжающийся рост поголовья.

Особенно резкий скачок цен – около 30% – пришёлся на 2025 год, когда расхождение между ростом поголовья и падением убойного веса оказалось наибольшим за весь рассматриваемый период.

Рост цен продолжился и в 2026 году: по последним данным Бюро национальной статистики, в сентября 2026 г. средняя розничная цена говядины составила 3819 тенге за килограмм [3].

Параллельно с ростом цен быстро расширяются экспортные поставки говядины [2], что ставит вопрос о конкуренции внешних и внутреннего рынков за произведённую продукцию.

Описанное противоречие – рост поголовья при росте цен – составляет исследовательскую проблему настоящей работы. Объяснение этого феномена требует анализа не только агрегированных показателей производства, но и структуры использования поголовья: доли молодняка, объёмов вывоза живого скота и каналов реализации мяса.

Цель работы – выявить и количественно оценить факторы, определяющие динамику внутренних цен на говядину в Казахстане.

Выбор анализируемых факторов обусловлен рабочей гипотезой исследования: розничная цена говядины определяется прежде всего объёмом предложения, поступающего на организованный внутренний рынок. Поэтому в качестве факторов рассматриваются показатели, характеризующие это предложение: общий объём производства говядины; производство говядины в расчёте на одну голову скота как индикатор эффективности использования поголовья; экспорт говядины как канал выбытия продукции с внутреннего рынка, в том числе за вычетом импорта (чистый экспорт). Чтобы отделить структурные процессы от общего роста цен, дополнительно учтена инфляция: розничные цены анализируются как в номинальном, так и в реальном выражении. Факторы издержек (стоимость кормов, транспортные и логистические расходы, курс тенге) в данной работе не рассматриваются и составляют направление дальнейших исследований.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1) анализ динамики поголовья крупного рогатого скота и производства говядины;

2) оценка изменения производства мяса в расчете на одну голову скота;

3) анализ динамики экспорта и импорта говядины;

4) исследование динамики розничных цен на говядину;

5) сопоставление внутренних и экспортных цен на мясную продукцию;

6) оценка взаимосвязи розничных цен с факторами предложения в номинальном и реальном выражении.

Статья состоит из введения, разделов, посвященных материалам и методам исследования, результатам анализа рынка говядины Казахстана, обсуждению полученных результатов и выводам.

Материалы и методы исследования

Эмпирическую базу исследования составляют официальные данные Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам РК за 2016–2025 гг. [1–3, 7] – по производству говядины, поголовью КРС в разрезе категорий хозяйств, розничным ценам, внешней торговле (экспорту и импорту) мясом и КРС в живом виде, а также по индексу потребительских цен.

Десятилетний горизонт наблюдений охватывает как период активного роста поголовья (2016–2023), так и резкое падение убойного веса в 2024–2025 годах, что делает его достаточным для выявления структурных закономерностей.

Для анализа внешней торговли использованы данные по товарным позициям внешнеэкономической деятельности, связанным с торговлей крупным рогатым скотом и мясной продукцией. Внешняя торговля анализировалась по товарным позициям ТН ВЭД 0201 (свежее и охлаждённое мясо КРС) и 0202 (замороженное мясо КРС) – совместное рассмотрение обеих позиций позволяет получить полную картину экспортных и импортных поставок говядины.

Основным методом исследования является корреляционный анализ по Пирсону. Помимо этого, применялись анализ динамических рядов и структурный анализ распределения поголовья по категориям хозяйств.

Для устранения влияния общей инфляции номинальные розничные цены пересчитаны в сопоставимые цены 2016 г. по формуле:

$$P_{\text{реал},t} = \frac{P_t}{I_t} \times 100$$

где: $P_{\text{реал},t}$ – средняя розничная цена в году t в сопоставимых ценах 2016 г.; P_t – номинальная средняя розничная цена в году t ; I_t – накопленный индекс потребительских цен к 2016 г. (2016 = 100%), полученный последовательным перемножением годовых индексов «январь–декабрь к январю–декабрю предыдущего года» [7]. Индекс потребительских цен выбран в качестве дефлятора как общий показатель инфляции; индекс цен на продовольственные товары не использовался, поскольку сама говядина входит в его состав.

Статистическая значимость коэффициентов корреляции оценивалась путём сравнения с критическим значением для $n = 10$ и уровня значимости 0,05 (|r|> 0,632).

Результаты исследования

Таблица 1 отражает ключевое противоречие казахстанского мясного рынка: поголовье КРС мясного направления за 2016–2025 гг. удвоилось, тогда как убойный вес после пика 2023 года резко просел.

Таблица 1. Динамика поголовья КРС и производства говядины в Казахстане (составлено по данным [1])

Год	Поголовье КРС мясного направления, голов	Убойный вес, тонн
2016	2028785	430627,54
2017	2190584	450593,70
2018	2341684	477503,00
2019	2475104	501393,00
2020	2661503	521387,40
2021	3373051	540765,30

2022	3585438	533248,54
2023	3781458	544304,36
2024	3991970	429460,47
2025	4181307	435001,84

Рост поголовья с 2,03 до 4,18 млн голов не сопровождался пропорциональным приростом производства говядины: производство выросло с 431 до 544 тыс. тонн к 2023 году, а затем упало до 429–435 тыс. тонн в 2024–2025 годах.

Такой разрыв указывает на структурные изменения: темпы прироста поголовья опережают темпы его реализации на убой.

Для оценки эффективности использования поголовья крупного рогатого скота был рассчитан показатель производства говядины в расчете на одну голову скота. Расчет данного показателя производится по следующей формуле:

$$M = \frac{Q}{N}$$

где: M – производство говядины на одну голову скота; Q – общий объем производства говядины; N – поголовье крупного рогатого скота мясного направления.

Результаты расчётов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Производство говядины на одну голову КРС (составлено по данным [1])

Год	**Производство на одну голову КРС, кг**
2016	212
2017	206
2018	204
2019	203
2020	196
2021	160
2022	149
2023	144
2024	108
2025	104

Удельное производство говядины сокращалось на протяжении всего периода: если в 2016 г. на одну голову приходилось более 200 кг, то к 2025 г. – около 100 кг. Наиболее резкие падения пришлись на 2021 и 2024 гг. (по 36 кг за год).

Снижение показателя может быть связано с рядом факторов. Во-первых, поголовье может расти за счёт молодняка, ещё не достигшего убойного возраста. Во-вторых, часть животных вывозится в живом виде и не попадает в отечественное производство говядины. В-третьих, определённая часть забоя может происходить вне официальных статистических каналов.

Отдельно следует оговорить 2021 г.: поголовье КРС мясного направления за один год выросло на 26,7%, тогда как общее поголовье КРС во всех категориях хозяйств – лишь на 4,3% [1]. В начале 2021 г. вступили в силу изменения в Правила идентификации сельскохозяйственных животных, внесённые приказом Министра сельского хозяйства РК от 30 декабря 2020 г. № 412 [8]; они уточнили порядок идентификации животных и

ведения соответствующей базы данных. Однако эти изменения касаются всего поголовья и не объясняют опережающего роста именно мясного направления. Поэтому скачок 2021 г., вероятно, связан с изменением классификации скота в учёте и частично обусловливает снижение удельного производства в этом году. Вместе с тем снижение показателя наблюдается и до 2021 г. (с 212 до 196 кг), и после него (со 160 до 104 кг).

Таблица 3. Внешняя торговля говядиной и КРС в живом виде в Казахстане (составлено по данным [1, 2])

Год	Экспорт говядины, тыс. долл. США	Экспорт говядины, тонн	Импорт говядины, тонн	Экспорт КРС в живом виде, тонн	Доля экспорта в производстве говядины, %
2016	4 851	1 649	9 525	1 925	0,4
2017	2 975	857	16 079	1 817	0,2
2018	15 361	4 711	15 180	16 973	1,0
2019	23 344	5 986	26 364	43 827	1,2
2020	32 196	9 449	25 116	7 505	1,8
2021	31 922	7 366	19 493	42 485	1,4
2022	84 223	18 325	6 673	653	3,4
2023	77 584	15 816	12 247	15 475	2,9
2024	94 101	22 265	12 523	24 761	5,2
2025	127 448	32 291	16 026	12 823	7,4

За десять лет физический объём экспорта говядины вырос с 1,6 до 32,3 тыс. тонн, стоимостной – с 4,9 до 127,4 млн долл. США (таблица 3); наиболее заметный рост пришёлся на 2022 г. и 2024–2025 гг. Доля экспорта в производстве говядины увеличилась с 0,4% до 7,4%. При этом импорт говядины оставался значительным: в 2016–2021 гг. он превышал экспорт, и Казахстан был нетто-импортёром говядины. Нетто-экспортёром страна стала лишь с 2022 г.; в 2025 г. чистый экспорт (экспорт за вычетом импорта) составил около 16,3 тыс. тонн, или 3,7% производства. Вывоз КРС в живом виде колебался значительно сильнее и рассматривается ниже, при обсуждении результатов.

Растущая часть произведённой говядины, таким образом, уходит на внешние рынки и может сокращать внутреннее предложение, если этот отток не восполняется импортом.

Таблица 4. Розничные цены на говядину в Казахстане (составлено по данным [3, 7])

Год	Средняя розничная цена за 1 кг говядины в Казахстане в текущих ценах, тенге	Индекс потребительских цен, 2016 = 100%	Средняя розничная цена в ценах 2016 г., тенге
2016	1245	100,0	1245
2017	1452	107,4	1352
2018	1549	113,8	1361
2019	1802	119,9	1503
2020	1947	128,0	1521
2021	2233	138,3	1615

2022	2430	159,0	1528
2023	2638	182,1	1449
2024	2698	197,9	1363
2025	3515	220,5	1594

Номинальная цена за 2016–2025 гг. выросла в 2,8 раза, причём основной скачок (+30%) пришёлся на 2025 год (таблица 4). Однако общий уровень потребительских цен за тот же период вырос в 2,2 раза, поэтому в сопоставимых ценах 2016 г. говядина подорожала лишь примерно на 28% – с 1245 до 1594 тенге/кг. В 2022–2024 гг. реальная цена даже снижалась, а в 2025 г. выросла примерно на 17%.

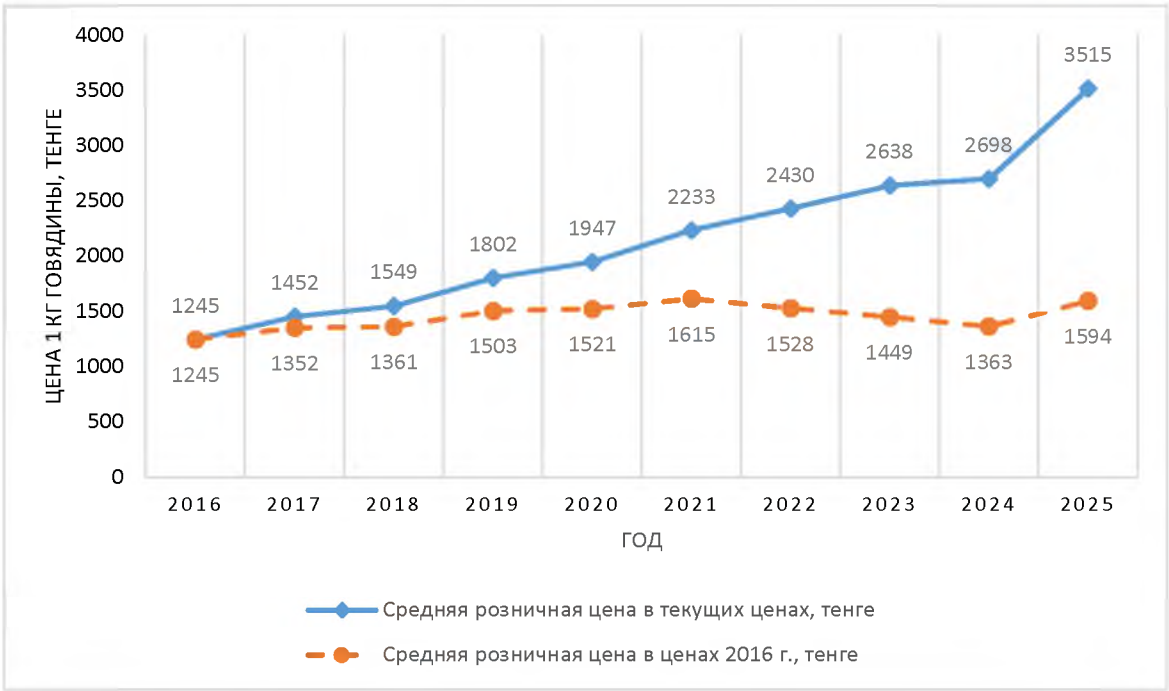


Рисунок 1. Динамика розничных цен на говядину в Казахстане в текущих и сопоставимых ценах 2016 г. (составлено по данным [3, 7])

На рисунке 1 хорошо заметно расхождение двух линий. Номинальная цена в 2016–2024 гг. росла относительно равномерно – в среднем примерно на 10% в год, – после чего в 2025 г. последовал резкий рывок. Реальная цена, напротив, после 2021 г. снижалась и вернулась к росту лишь в 2025 г., так что в сопоставимом выражении удорожание оказалось значительно скромнее.

Динамику внутренних цен полезно сопоставить с ценами, по которым говядина уходит за рубеж.

Средняя экспортная цена говядины, рассчитанная на основе статистических данных внешней торговли, составляет около 4 долларов за килограмм [2]. В то же время средняя розничная цена на внутреннем рынке Казахстана в 2025 году превышает 3500 тенге за килограмм, что соответствует приблизительно 7 долларам США [3]. Помимо этих двух ориентиров, в экспорте выделяется премиальный сегмент (таблица 5).

Таблица 5. Сравнение ценовых сегментов рынка говядины
(составлено по данным [2, 6])

Сегмент рынка	Цена
Средняя экспортная цена	около 4 $/кг
Розничная цена в Казахстане	около 7 $/кг
Премиальный экспорт	около 14 $/кг

Разрыв между средней экспортной ценой (~4 долл./кг) и внутренней розничной (~7 долл./кг) во многом объясняется структурой экспортного потока, а не реальным ценовым преимуществом внутреннего рынка.

Агрегированная средняя занижается за счёт дешёвых категорий – замороженного мяса и менее ценных частей туши [5].

При этом премиальные партии уходят за рубеж по ценам до 14 долл./кг [6] – выше внутреннего розничного уровня.

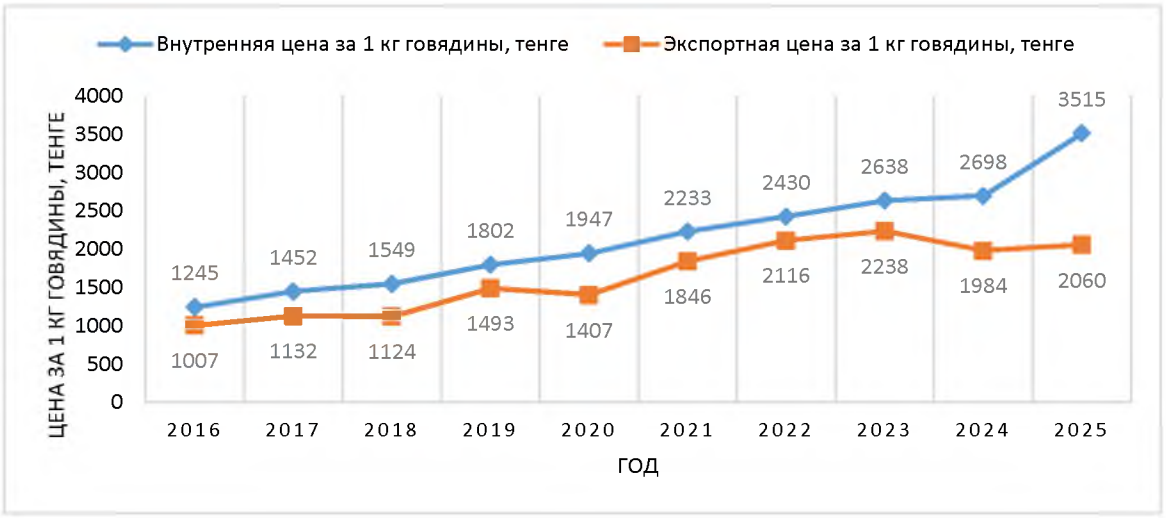


Рисунок 2. Сравнение экспортных и внутренних цен на говядину
(составлено по данным [2, 3])

Внутренняя розничная цена на протяжении всего периода оставалась выше средней экспортной (рисунок 2).

Для количественной оценки взаимосвязи между основными показателями рынка говядины был проведён корреляционный анализ статистических данных за период 2016–2025 гг.

Коэффициент корреляции рассчитывался по формуле линейной корреляции Пирсона [4].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

где: r – искомый коэффициент корреляции; x_i и y_i – значения факторного и результативного показателей в году i; n – количество наблюдений; $\bar{x}$ – среднее значение переменной x; $\bar{y}$ – среднее значение переменной y.

В данном исследовании результативным показателем во всех рассматриваемых случаях выступает средняя розничная цена говядины – y [таблица 4].

В качестве факторных показателей последовательно использованы:

x_1 – объем экспорта говядины, тонн [таблица 3];

x_2 – общий объем производства говядины, тонн [таблица 1];

x_3 – производство говядины на одну голову скота, кг [таблица 2].

x_4 – чистый экспорт говядины (экспорт за вычетом импорта), тонн [таблица 3].

Период наблюдения взят за десять лет, соответственно $n = 10$.

r_1 – корреляция между экспортом говядины и розничной ценой
x_{1i} – объем экспорта говядины, тонн [таблица 3]
y_i – средняя розничная цена говядины, тенге/кг [таблица 4]
$\overline{x_{1i}} = 11871{,}5$ тонн
$\overline{y_i} = 2150{,}9$ тенге/кг
$r_1 = 0{,}96$

r_2 – корреляция между производством говядины и розничной ценой
x_{2i} – общий объем производства говядины, тонн [таблица 1]
y_i – средняя розничная цена говядины [таблица 4]
$\overline{x_{2i}} = 486428{,}5$ тонн
$\overline{y_i} = 2150{,}9$ тенге/кг
$r_2 = 0{,}04$

r_3 – корреляция между производством говядины на одну голову и розничной ценой
x_{3i} – производство говядины на одну голову, кг [таблица 2]
y_i – средняя розничная цена говядины [таблица 4]
$\overline{x_{3i}} = 168{,}6$ кг
$\overline{y_i} = 2150{,}9$ тенге/кг
$r_3 = -0{,}95$

r_4 – корреляция между чистым экспортом говядины и розничной ценой
x_{4i} – чистый экспорт говядины, тонн [таблица 3]
y_i – средняя розничная цена говядины [таблица 4]
$\overline{x_{4i}} = -4050{,}9$ тонн
$\overline{y_i} = 2150{,}9$ тенге/кг
$r_4 = 0{,}80$

Аналогичный расчёт выполнен для средней розничной цены в сопоставимых ценах 2016 г. (таблица 4; $\bar{y} = 1453{,}1$ тенге/кг): $r'_1 = 0{,}47$; $r'_2 = 0{,}57$; $r'_3 = -0{,}43$; $r'_4 = 0{,}17$. Здесь и далее штрихом обозначены коэффициенты корреляции, рассчитанные для цен в сопоставимом выражении.

Сводные результаты для номинальных и реальных цен приведены в таблице 6.

Таблица 6. Коэффициенты корреляции между показателями рынка говядины (составлено и рассчитано по данным [1, 2, 3, 7])

Показатели	r (номинальные цены)	r' (цены 2016 г.)
Экспорт говядины – розничная цена	0,96*	0,47
Чистый экспорт говядины – розничная цена	0,80*	0,17
Производство говядины – розничная цена	0,04	0,57
Производство на одну голову – розничная цена	–0,95*	–0,43

*коэффициент статистически значим при уровне значимости 0,05 (|r|> 0,632; n = 10).

Для номинальных цен наиболее высокая отрицательная корреляция наблюдается между производством говядины на одну голову скота и ценой (r_3 = –0,95): снижение удельного производства говядины сопровождалось ростом номинальной цены.

Однако и цена, и производство на одну голову имеют выраженный временной тренд, и значительная часть этой связи обусловлена общим ростом цен. После пересчёта цен в сопоставимые цены 2016 г. коэффициент снижается до r'_3 = –0,43 и становится статистически незначимым. Это не позволяет рассматривать снижение производства на одну голову как самостоятельную причину роста цен.

Практически нулевое значение (r_2 = 0,04) для общего объёма производства и номинальной цены указывает на то, что наращивание поголовья само по себе не сопровождалось снижением цен: прирост поголовья не обеспечил соответствующего увеличения предложения говядины на внутреннем рынке. Для реальных цен связь умеренная положительная (r'_2 = 0,57), но статистически незначимая.

Тесная положительная корреляция экспорта с номинальной ценой (r_1 = 0,96) статистически значима: в годы наращивания экспорта номинальная цена говядины на внутреннем рынке была выше. Однако и эта связь во многом отражает общий тренд: для реальных цен коэффициент снижается до r'_1 = 0,47 и становится статистически незначимым. Кроме того, доля экспорта в производстве говядины даже в 2025 г. оставалась невысокой (таблица 3), поэтому экспорт может рассматриваться лишь как один из факторов сокращения внутреннего предложения.

Учёт импорта заметно ослабляет эту связь. Для чистого экспорта (экспорт за вычетом импорта) коэффициент корреляции с номинальной ценой ниже – $r_4 = 0{,}80$, хотя и остаётся статистически значимым, а для реальных цен связь практически отсутствует ($r'_4 = 0{,}17$). Следовательно, тесная номинальная связь экспорта с ценой в значительной мере отражает общий тренд, а не фактический отток говядины с внутреннего рынка, который до 2022 г. и вовсе отсутствовал: в этот период Казахстан оставался нетто-импортёром говядины.

В целом в номинальном выражении рост цен тесно связан как со снижением производства говядины на одну голову, так и с ростом экспорта. Однако после устранения инфляционной составляющей ни одна из парных связей не является статистически значимой. Следовательно, номинальный рост цен в значительной мере отражает общую инфляцию, а выявленные структурные факторы – снижение удельного производства и рост экспорта – могут рассматриваться как сопутствующие росту цен и требуют дальнейшей проверки.

Полученные результаты следует интерпретировать с учётом ограничений применённого метода. Во-первых, коэффициент корреляции Пирсона характеризует тесноту линейной статистической связи между показателями, но сам по себе не

доказывает наличия причинно-следственной зависимости. Во-вторых, ряд наблюдений ограничен десятью годами ($n = 10$), что снижает надёжность оценок: при таком объёме выборки связь значима на уровне 0,05 лишь при |r|> 0,632. В-третьих, рассматриваемые показатели имеют выраженный временной тренд, что может завышать коэффициенты корреляции для номинальных величин; поэтому расчёт дополнен вариантом с ценами, приведёнными к уровню 2016 г. Наконец, парный корреляционный анализ не позволяет разделить одновременное влияние нескольких факторов.

Обсуждение результатов

Выявленные закономерности указывают на то, что рост розничных цен на говядину в Казахстане связан не с недостатком поголовья, а с сочетанием общего инфляционного фона и структурных особенностей формирования товарного предложения говядины на внутреннем рынке. Так, в 2016–2025 гг. индекс потребительских цен вырос в 2,2 раза, что объясняет бóльшую часть номинального удорожания говядины.

Ключевой индикатор структурных изменений – производство говядины на одну голову скота: оно сократилось более чем вдвое, хотя поголовье КРС мясного направления за тот же период удвоилось (таблицы 1, 2). Такой разрыв может свидетельствовать о структурном недостатке предложения на внутреннем рынке.

Среди возможных причин этого явления можно выделить два механизма. Первый – изменение возрастной структуры стада: рост поголовья во многом обеспечивается молодняком, который ещё не достиг убойного возраста и, следовательно, не участвует в формировании предложения говядины. Второй – экспорт КРС в живом виде: вывезенные за пределы страны животные не учитываются в объёме производства говядины в убойном весе. Действуя одновременно, эти факторы могут объяснять устойчивое снижение показателя производства на голову, зафиксированное в таблице 2. Масштаб второго механизма подтверждают данные внешней торговли (таблица 3): вывоз КРС в живом виде сильно колебался – от 0,7 тыс. тонн живого веса в 2022 г. до 42–44 тыс. тонн в 2019 и 2021 гг., что в 6–7 раз превышало экспорт говядины в те же годы. При убойном выходе КРС 50–65% в зависимости от упитанности [9] такой вывоз соответствует примерно 21–28 тыс. тонн говядины, или около 4–6% её производства. Одновременно страна ввозила живой скот (в 2019 г. – 19,5 тыс. тонн, в 2021 г. – 8,0 тыс. тонн), поэтому чистый вывоз был меньше. Пик вывоза в 2021 г. совпал с наиболее резким снижением производства на одну голову.

Экспорт говядины рос опережающими темпами, и его доля в производстве заметно увеличилась (таблица 3). Тесная связь экспорта с номинальной ценой ($r_1 = 0{,}96$) согласуется с предположением о том, что внешние рынки конкурируют с внутренним за произведённую продукцию, однако в реальном выражении эта связь статистически незначима ($r'_1 = 0{,}47$).

Часть производства, следовательно, реализуется за рубежом и не поступает на внутренний рынок; насколько этот отток восполняется импортом, показывает сопоставление экспорта и импорта (таблица 3).

Экспортные поставки к тому же сильно различаются по цене. Средняя экспортная цена говядины существенно ниже внутренней розничной (таблица 5), однако она представляет собой агрегированную величину, которая заметно меняется в зависимости от структуры поставок.

Часть экспортных операций может осуществляться по относительно низким ценам, включая поставки замороженного мяса, менее ценных частей туши или продукции,

реализуемой через неформальные каналы торговли. При увеличении доли таких поставок средняя экспортная цена может снижаться.

В то же время существует сегмент высококачественной мясной продукции, поставляемой на внешние рынки по значительно более высоким ценам. В отдельных случаях стоимость такой продукции может достигать 14 долларов за килограмм. Это свидетельствует о наличии ценовой сегментации на экспортном рынке говядины.

Отдельного внимания заслуживает распределение поголовья КРС по категориям хозяйств (таблица 7).

Таблица 7. Поголовье КРС по категориям хозяйств (составлено по данным [1])

Год	Поголовье в сельскохозяйственных предприятиях, голов	Поголовье в крестьянских (фермерских) хозяйствах и у индивидуальных предпринимателей, голов	Поголовье в хозяйствах населения, голов	Поголовье во всех категориях хозяйств, голов	Доля хозяйств населения, %
2016	580344	1948408	3718478	6247230	59,52
2017	662608	2225254	3857524	6745386	57,19
2018	712869	2400994	4024065	7137928	56,38
2019	717865	2620602	4099178	7437645	55,11
2020	754704	2861480	4232358	7848542	53,93
2021	771757	3128703	4284645	8185105	52,35
2022	806354	3372473	4216204	8395031	50,22
2023	864530	3582638	4161684	8608852	48,34
2024	835618	3480588	3526366	7842572	44,96
2025	919996	3551892	3695337	8167225	45,25

Доля хозяйств населения в общем поголовье КРС снизилась с 59,5% в 2016 году до 45,3% в 2025 году, но в них по-прежнему сосредоточена почти половина поголовья. Говядина, производимая в таких хозяйствах, нередко используется для собственного потребления или реализуется напрямую, минуя организованный рынок. Поэтому официальная статистика производства говядины не в полной мере отражает объём говядины, поступающей на организованный рынок.

Кроме того, часть забоя происходит вне специализированных боен – в домашних условиях или через неформальную приграничную торговлю. Всё это затрудняет точную оценку фактического предложения говядины на организованном рынке. В общем виде его можно представить балансовым соотношением: Предложение = Производство + Импорт − Экспорт − Потребление в хозяйствах населения − Прирост запасов. Экспорт КРС в живом виде в этом соотношении отдельно не отражается: вывезенные животные не забиваются в стране и потому не входят в производство говядины в убойном весе, а их влияние проявляется в сокращении самого производства. Соотношение помогает объяснить, почему рост поголовья КРС мясного направления не транслируется в пропорциональный прирост предложения на организованном рынке: часть скота вывозится живым и не доходит до убоя, часть произведённой говядины уходит на экспорт, а значительная доля потребляется в хозяйствах населения вне организованных рынков сбыта.

Совокупное действие описанных механизмов формирует устойчивый разрыв между ростом поголовья и фактическим товарным предложением говядины на

организованном рынке. Этот разрыв наряду с общей инфляцией может рассматриваться как один из основных факторов роста розничных цен.

Заключение

Рост розничных цен на говядину в Казахстане в 2016–2025 гг. не связан с нехваткой поголовья – за этот период поголовье КРС мясного направления удвоилось. В номинальном выражении цены выросли почти втрое, однако в сопоставимых ценах 2016 г. рост составил около 28%. Примерно три четверти номинального роста цены объясняется общей инфляцией: при росте цены в 2,82 раза и индекса потребительских цен в 2,2 раза доля инфляционной составляющей в логарифмическом выражении составляет ln 2,2 / ln 2,82 ≈ 0,76. Структурная проблема рынка состоит в разрыве между ростом поголовья и объёмом говядины, фактически поступающей на организованный внутренний рынок.

Количественным индикатором этого разрыва служит производство говядины на одну голову скота, сократившееся за период более чем вдвое; тенденция к снижению сохраняется и без учёта скачка поголовья в 2021 г. В номинальном выражении этот показатель наиболее тесно связан с ценой ($r_3 = -0{,}95$), однако после устранения инфляционной составляющей связь ослабевает до умеренной и статистически незначимой ($r'_3 = -0{,}43$). Общий объём производства практически не коррелирует с номинальной ценой ($r_2 = 0{,}04$) – прирост поголовья не сопровождался пропорциональным ростом производства говядины в убойном весе.

Среди возможных механизмов, объясняющих это явление, можно выделить омоложение стада, при котором значительная часть поголовья представлена молодняком, ещё не достигшим убойного возраста, и экспорт КРС в живом виде, при котором животные не учитываются в отечественном производстве говядины. Второй механизм имеет заметный масштаб: в 2019 и 2021 гг. вывоз живого скота по массе в 6–7 раз превышал экспорт говядины.

Экспорт говядины кратно вырос, однако его доля в производстве и в 2025 г. оставалась ограниченной (7,4%), а с учётом импорта Казахстан стал нетто-экспортёром говядины лишь с 2022 г. Связь экспорта с номинальной ценой тесная ($r_1 = 0{,}96$), однако в реальном выражении она статистически незначима ($r'_1 = 0{,}47$). С учётом импорта связь ещё слабее: для чистого экспорта r_4 " = 0,80" в номинальном и $r'_4 = 0{,}17$ в реальном выражении. Поэтому экспорт можно рассматривать как один из возможных факторов сокращения внутреннего предложения, но не как основную причину роста цен.

Анализ ценовой структуры экспорта показал существенную сегментацию: при средней экспортной цене около 4 долл./кг отдельные партии премиальной продукции реализуются по ценам до 14 долл./кг, тогда как внутренняя розничная цена в 2025 году составила около 7 долл./кг.

Дополнительным структурным фактором остаётся концентрация почти половины поголовья КРС в хозяйствах населения, где значительная часть говядины потребляется вне организованного рынка или реализуется неформально.

Таким образом, для стабилизации внутренних цен на говядину недостаточно наращивать поголовье – целесообразно повышать убойный выход, учитывать влияние экспорта, в том числе КРС в живом виде, на внутреннее предложение в периоды его сокращения и развивать инфраструктуру для вовлечения хозяйств населения в организованные каналы сбыта.

Полученные выводы основаны на парном корреляционном анализе и не устанавливают причинно-следственных связей; после устранения инфляционной

составляющей ни одна из рассмотренных парных связей не является статистически значимой, поэтому результаты носят ориентировочный характер. Перспективным направлением дальнейших исследований является построение многофакторной регрессионной модели, включающей наряду с рассмотренными показателями стоимость кормов, транспортные и логистические издержки и курс тенге, что позволит оценить одновременное влияние факторов и разделить их вклад. Для этого потребуется расширение информационной базы, например за счёт квартальных или региональных данных.

Во время подготовки данной рукописи авторы использовали инструменты искусственного интеллекта для помощи в редактировании текста и оформлении результатов исследования. Все научные интерпретации были выполнены авторами. Инструменты с поддержкой ИИ не применялись для сбора данных или статистического анализа. Все содержание материала было проверено и верифицировано авторами, которые несут полную ответственность за содержание и оригинальность рукописи.

Литература:

1. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Режим обращения: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish (дата обращения: 15.09.2026)
2. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Режим обращения: https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/spreadsheets (дата обращения: 12.03.2026)
3. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Режим обращения: https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/prices/spreadsheets (дата обращения: 15.09.2026)
4. Рагимов А.О., Мазиров М.А. Статистический анализ данных в сельском хозяйстве: учебно-практическое пособие, электронное издание. – Владимир, 2022. – С. 110–119.
5. Информационно-аналитический портал Eldala.kz. Зачем Казахстан экспортирует говядину по 2 тыс. тенге за килограмм. Режим обращения: https://eldala.kz/specproekty/24260-zachem-kazahstan-eksportiruet-govyadinu-po-2-tys-tenge-za-kilogramm (дата обращения: 12.03.2026)
6. Информационно-аналитический портал Eldala.kz. Где готовы платить 14$ за килограмм говядины из Казахстана. Режим обращения: https://eldala.kz/specproekty/24199-gde-gotovy-platit-14-za-kilogramm-govyadiny-iz-kazahstana (дата обращения: 12.03.2026)
7. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Индексы потребительских цен (январь–декабрь к январю–декабрю предыдущего года). Режим обращения: https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/prices/spreadsheets/ (дата обращения: 15.09.2026)
8. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 декабря 2020 года № 412 «О внесении изменений и дополнений в приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 января 2015 года № 7-1/68 «Об утверждении Правил идентификации сельскохозяйственных животных»». Режим обращения: https://zakon.uchet.kz/rus/docs/V2000022011 (дата обращения: 15.09.2026)
9. Сельское хозяйство: большой энциклопедический словарь / гл. ред. В.К. Месяц. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. Статья «Убойный выход». Режим обращения: https://www.cnshb.ru/AKDiL/0024/base/RU/000002.shtm (дата обращения: 15.09.2026)

References:

1. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish (date of access: 15/09/2026)

2. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/foreign-market/spreadsheets (date of access: 15/09/2026)
3. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/prices/spreadsheets (date of access: 15/09/2026)
4. Ragimov A.O., Mazirov M.A. Statisticheskij analiz dannyh v sel'skom hozyajstve: uchebno-prakticheskoe posobie, elektronnoe izdanie. – Vladimir, 2022. – S. 110–119.
5. Informacionno-analiticheskij portal Eldala.kz. Zachem Kazahstan eksportiruet govyadinu po 2 tys. tenge za kilogramm. Rezhim obrashcheniya: https://eldala.kz/specproekty/24260-zachem-kazahstan-eksportiruet-govyadinu-po-2-tys-tenge-za-kilogramm (data obrashcheniya: 12.03.2026)
6. Informacionno-analiticheskij portal Eldala.kz. Gde gotovy platit' 14$ za kilogramm govyadiny iz Kazahstana. Rezhim obrashcheniya: https://eldala.kz/specproekty/24199-gde-gotovy-platit-14-za-kilogramm-govyadiny-iz-kazahstana (data obrashcheniya: 12.03.2026)
7. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Consumer price indices (January–December to January–December of the previous year). URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/economy/prices/spreadsheets/ (date of access: 15/09/2026)
8. Prikaz Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan ot 30 dekabrya 2020 goda № 412 «O vnesenii izmenenij i dopolnenij v prikaz Ministra sel'skogo hozyajstva Respubliki Kazahstan ot 30 yanvarya 2015 goda № 7-1/68 «Ob utverzhdenii Pravil identifikacii sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh»». Rezhim obrashcheniya: https://zakon.uchet.kz/rus/docs/V2000022011 (data obrashcheniya: 15.09.2026)
9. Sel'skoe hozyajstvo: bol'shoj enciklopedicheskij slovar' / gl. red. V.K. Mesyac. – M.: Bol'shaya Rossijskaya enciklopediya, 1998. Stat'ya «Ubojnyj vyhod». Rezhim obrashcheniya: https://www.cnshb.ru/AKDiL/0024/base/RU/000002.shtm (data obrashcheniya: 15.09.2026)

Information about the authors

I.M. Nassukhanov – 4rd year Bachelor student majoring in Accounting and Audit, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: nasukhanov99@bk.ru;
O.V. Protasova – corresponding author, Senior Lecturer, Department of Economics, Accounting and Finance, Master's Degree, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: protasovaov@mail.ru.

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-229-235
UDC 633.5
IRSTI 68.35.35

AZOTOBACTERIN AS A MICROBIOLOGICAL FERTILIZER FOR IMPROVING SOIL FERTILITY AND CROP YIELD

K.H. Salimov[1], Sh.T. Soliev[1*]
[1]State Institution "State Commission for Testing Agricultural Crop Varieties and Variety Protection", Dushanbe, Tajikistan*
[*]Corresponding author: samsiddinsoliev373@gmail.com

Abstract

This article summarizes the scientific, technological, and practical aspects of applying the microbiological fertilizer Azotobacterin, developed on the basis of the free-living soil bacterium *Azotobacter chroococcum*. It is shown that bacteria of the genus *Azotobacter* are involved in the biological fixation of atmospheric nitrogen, the synthesis of physiologically active substances, the stimulation of rhizosphere microflora, and the reduction of chemical load on the soil. Laboratory and field studies demonstrated that the application of an activated *Azotobacter* strain to grain legumes increased crop yield by 8–16% compared with the control, while potato yield under the soil conditions of Central Tajikistan reached 252 centners per hectare (25.2 t/ha). The paper also discusses the technological requirements for the production of the biofertilizer, quality control parameters, and the prospects for its implementation in the agricultural sector of the Republic of Tajikistan.

Keywords: *Azotobacter chroococcum*, Azotobacterin, microbiological fertilizer, biological nitrogen fixation, rhizosphere, soil fertility, crop yield, sustainable agriculture.

АЗОТОБАКТЕРИН – ТОПЫРАҚ ҚҰНАРЛЫЛЫҒЫ МЕН АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІН АРТТЫРУҒА АРНАЛҒАН МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ ТЫҢАЙТҚЫШ

Салимов Қ.Х.[1], Солиев Ш.Т.[1*]
[1]«Ауыл шаруашылығы дақылдарының сорттарын сынау және сорттарды қорғау жөніндегі мемлекеттік комиссия» мемлекеттік мекемесі, Душанбе, Тәжікстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: samsiddinsoliev373@gmail.com

Аңдатпа

Мақалада Azotobacter chroococcum еркін тіршілік ететін топырақ бактериясы негізінде әзірленген «Азотобактерин» микробиологиялық тыңайтқышын қолданудың ғылыми, технологиялық және өндірістік аспектілері жинақталған. Azotobacter туысына жататын бактериялардың атмосфералық азотты биологиялық фиксациялауға, физиологиялық белсенді заттарды синтездеуге, ризосфералық микрофлораның белсенділігін арттыруға және топыраққа түсетін химиялық жүктемені азайтуға қатысатыны көрсетілген. Зертханалық және өндірістік материалдар негізінде белсендірілген Azotobacter штаммын дәнді-бұршақты дақылдарға қолдану бақылау нұсқасымен салыстырғанда өнімділікті 8–16% арттыратыны, ал Орталық Тәжікстан топырақтары жағдайында картоптың өнімділігі 252 ц/га-ға жететіні анықталды. Сонымен қатар препаратты өндірудің технологиялық талаптары, сапасын бақылау көрсеткіштері және оны Тәжікстан Республикасы ауыл шаруашылығы өндірісіне енгізу бағыттары қарастырылған.

Кілт сөздер: *Azotobacter chroococcum*, Азотобактерин, микробиологиялық тыңайтқыш, азоттың биологиялық фиксациясы, ризосфера, топырақ құнарлылығы, өнімділік, тұрақты егіншілік.

АЗОТОБАКТЕРИН КАК МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ УДОБРЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Салимов К.Х.[1], Солиев Ш.Т.[1*]

[1]Государственное учреждение «Государственная комиссия по испытанию сортов сельскохозяйственных культур и охране сортов», Душанбе, Таджикистан*

[*]Автор для корреспонденции: samsiddinsoliev373@gmail.com.

Аннотация

В статье обобщены научные, технологические и производственные аспекты применения микробиологического удобрения «Азотобактерин», созданного на основе свободноживущей почвенной бактерии Azotobacter chroococcum. Показано, что бактерии рода Azotobacter участвуют в биологической фиксации атмосферного азота, синтезе физиологически активных веществ, активизации ризосферной микрофлоры и снижении химической нагрузки на почву. На основании лабораторных и производственных материалов установлено, что применение активированного штамма Azotobacter на зернобобовых культурах обеспечивает повышение урожайности на 8–16 % по сравнению с контролем, а урожайность картофеля в условиях почв Центрального Таджикистана достигает 252 ц/га. Рассмотрены технологические требования к производству препарата, показатели контроля качества и направления его внедрения в сельскохозяйственное производство Республики Таджикистан.

Ключевые слова: Azotobacter chroococcum, Азотобактерин, микробиологическое удобрение, биологическая фиксация азота, ризосфера, плодородие почвы, урожайность, устойчивое земледелие.

Relevance

Under the current conditions of climate change, depletion of soil organic matter reserves, degradation of agroecosystems, and the rising cost of mineral fertilizers, the biologization of agriculture has become an issue of considerable scientific and practical importance. Soil fertility is determined not only by the availability of essential nutrients but also by the activity of the soil microbiota, humus content, water-physical properties, enzymatic activity, and the overall biological balance of the soil environment [1, 2].

Rhizosphere microorganisms play a crucial role in the mineralization of organic matter, the transformation of nitrogen, phosphorus, and micronutrient compounds, and the creation of favorable conditions for the growth and development of agricultural crops. Among these microorganisms, bacteria of the genus *Azotobacter*, particularly *Azotobacter chroococcum*, occupy a special place as free-living nitrogen-fixing microorganisms [3, 4]. Unlike symbiotic rhizobial bacteria that form nodules on legume roots, these microorganisms are capable of fixing atmospheric molecular nitrogen without establishing specialized symbiotic associations with plants, making them highly valuable across a wide range of agroecological conditions.

Azotobacterin is a microbiological fertilizer containing viable cells of *Azotobacter*. It is used for seed bacterization, treatment of seedling root systems, potato tubers, and organic fertilizers, as well as for improving the microbial composition of the rhizosphere. The major advantages of this biofertilizer include its environmental safety, its ability to enhance soil biological activity, reduce the need for mineral nitrogen fertilizers, and promote the sustainability of agroecosystems [5, 6].

Scientific novelty

The scientific novelty of the study lies in the comprehensive assessment of the results of activating the production strain *Azotobacter chroococcum* and its production-scale testing under the soil and climatic conditions of Tajikistan.

The authors' original findings include a reduction in the culture development period following activation from approximately 2.5 days to 10 hours, an increase in yield of 8–16% in leguminous crops compared with the control, a potato yield of 252 c/ha obtained on the soils of Central Tajikistan, as well as the development, based on these results, of production requirements and a differentiated scheme for the application of the preparation. The isolation of a new strain was not the subject of the present study.

Materials and Methods

This study was based on the analysis of laboratory data, research findings obtained by the Department of Soil Biology and Microbiological Fertilizer Development, field application data on the use of Azotobacterin, and published scientific literature concerning the biology of *Azotobacter chroococcum* and the application of microbiological fertilizers in agriculture.

The objects of the study included an activated strain of *Azotobacter* and microbiological preparations developed on its basis. The evaluation considered the morphological and physiological characteristics of the bacterium, its ability to fix atmospheric nitrogen, synthesize plant growth-promoting substances, nutritional requirements, cell viability in different formulation types, and its potential effectiveness under field conditions.

The production assessment included an analysis of crop yield increases, application methods of the biofertilizer for various agricultural crops, requirements for seed and planting material treatment, and the potential use of Azotobacterin as a component of an integrated plant nutrition system.

Results and Discussion

Azotobacter chroococcum is an aerobic free-living soil bacterium that exhibits high biological activity in the presence of an available carbon source and adequate supplies of phosphorus, molybdenum, iron, manganese, and other essential micronutrients. The analyzed data indicate that this bacterium is capable of fixing up to 20 mg of atmospheric nitrogen per gram of sugar consumed, a characteristic that plays a significant role in improving the availability of biologically accessible nitrogen for plants.

In addition to nitrogen fixation, *Azotobacter* synthesizes a wide range of physiologically active compounds, including nicotinic acid, pantothenic acid, pyridoxine, biotin, indole-3-acetic acid (IAA), gibberellins, and other bioactive substances. These metabolites stimulate root system development, promote vegetative growth, and enhance plant tolerance to adverse environmental conditions.

The mechanism of action of Azotobacterin within the soil–plant system is multifaceted. It involves improving plant nitrogen nutrition, stimulating the activity of beneficial rhizosphere microorganisms, enhancing root growth, promoting the synthesis of vitamins and phytohormones, and potentially suppressing certain phytopathogenic microorganisms through the production of biologically active antimicrobial compounds.

Table 1. Main Functional Roles of *Azotobacter chroococcum* in the Soil–Plant System

No	Functional Role	Biological Mechanism	Agricultural Significance
1	Nitrogen fixation	Conversion of atmospheric N_2 into biologically available forms	Improves plant nitrogen nutrition
2	Phytohormone synthesis	Production of auxins, gibberellins, vitamins, and other growth-promoting compounds	Stimulates root development and vegetative growth
3	Rhizosphere activation	Enhancement of beneficial rhizosphere microbial activity	Increases soil biological fertility
4	Antagonistic activity	Production of biologically active antimicrobial compounds	Reduces the risk of certain root diseases
5	Interaction with mineral nutrition	Dependence of bacterial activity on phosphorus, molybdenum, and micronutrient availability	Improves the efficiency of fertilizer application

The production technology of Azotobacterin should ensure the maintenance of strain purity, controlled bacterial propagation, selection of an appropriate carrier material, and preservation of a sufficient population of viable cells. In agricultural practice, the biofertilizer is produced in dry, soil-based, and peat-based formulations. For the dry formulation, a key quality requirement is a minimum concentration of 0.5×10^9 viable cells per gram of the product, whereas soil-based and peat-based formulations should contain at least 5.0×10^7 viable cells per gram.

The culture medium for cultivating *Azotobacter* should contain a suitable carbon source, mineral salts, iron and manganese sulfates, as well as molybdenum compounds. A pH range of 5.7–6.5 is considered optimal for specific stages of bacterial cultivation. Fermentation is recommended to proceed until the culture reaches the stationary growth phase, as this stage is characterized by the maximum release of biologically active compounds into the culture medium, thereby enhancing the effectiveness of the resulting microbiological fertilizer.

Table 2. Key Requirements for the Production and Quality Control of Azotobacterin

№	Parameter	Recommended Requirements
1	Culture purity	Absence of microbial contamination and preservation of the strain's characteristic properties
2	Viable cell count	Dry formulation: at least 0.5×10^9 cells g^{-1}; soil-based and peat-based formulations: at least 5.0×10^7 cells g^{-1}
3	Culture medium	Carbon source, mineral salts, iron (Fe), manganese (Mn), and molybdenum (Mo) compounds
4	Storage conditions	Airtight packaging, protection from overheating and direct sunlight, storage at low positive temperatures
5	Safety	Non-toxic and safe for humans, animals, plants, and the environment
6	Efficacy	Improved seed germination, plant growth, and crop yield compared with the untreated control

According to laboratory data, activation of the *Azotobacter* strain reduced the cultivation period from approximately 2.5 days to 10 hours. This improvement is of considerable importance for the industrial production of the biofertilizer, as a shorter cultivation cycle increases production capacity and enables the timely supply of the product to agricultural producers.

Field trials demonstrated that the application of Azotobacterin to grain legume crops increased yield by 8–16% compared with the untreated control. Under the soil and climatic conditions of Central Tajikistan, potato yield reached 252 centners ha^{-1} (25.2 t ha^{-1}), indicating that the biofertilizer has strong potential as a component of sustainable crop production technologies.

At present, the use of Azotobacterin in pilot demonstration fields located in the Dusti and Jayhun districts, as well as in the city of Vahdat, provides valuable opportunities for large-scale field validation and for refining agronomic recommendations for the application of the biofertilizer under different soil and climatic conditions across the Republic of Tajikistan.

Table 3. Recommended Application Scheme of Azotobacterin for Agricultural Crops

№	Treatment Target	Application Method	Key Requirements
1	Cereal seeds	Seed bacterization before sowing	Ensure uniform seed moistening and timely sowing
2	Grain legumes	Seed treatment or application to the rhizosphere	Maintain adequate soil moisture and sufficient phosphorus availability
3	Potato	Treatment of seed tubers or the root zone with a bacterial suspension	Apply on soils with adequate organic matter content
4	Vegetable seedlings	Dipping the root system into a bacterial suspension before transplanting	Prevent root desiccation after treatment
5	Compost and organic fertilizers	Incorporation into organic material before field application	Maintain adequate moisture and aeration during the composting process

The effectiveness of Azotobacterin depends on several factors, including soil properties, organic matter content, the availability of phosphorus and micronutrients, soil moisture, temperature, and the quality of the biofertilizer itself. Therefore, Azotobacterin should not be regarded as a complete substitute for mineral fertilizers but rather as an integral component of an integrated plant nutrition system. When applied in accordance with recommended rates, timing, and agronomic practices, the biofertilizer can reduce the requirement for mineral nitrogen fertilizers without compromising crop productivity.

From an environmental perspective, the application of Azotobacterin contributes to reducing the chemical load on soils, enhancing the activity of beneficial soil microbiota, improving the biological status of agroecosystems, and increasing the resilience of the soil–plant system. In the Republic of Tajikistan, where a substantial proportion of agricultural land is affected by drought, limited water availability, and declining soil organic matter, the

development of domestic production of such microbiological fertilizers is of considerable scientific, agricultural, and environmental importance.

Nevertheless, the large-scale implementation of Azotobacterin requires comprehensive multi-factor field trials conducted under diverse agroecological conditions across the country. Experimental designs should include an untreated control, a treatment with Azotobacterin alone, a combined treatment of Azotobacterin with a reduced rate of mineral fertilizers, and a treatment with the conventional mineral fertilization system. Such an approach would provide a robust assessment of the agronomic, economic, and environmental effectiveness of the biofertilizer.

Conclusions

1. Azotobacterin is a microbiological fertilizer of considerable scientific, agricultural, and environmental importance, developed on the basis of the free-living nitrogen-fixing bacterium *Azotobacter chroococcum*.

2. The biofertilizer exerts a multifaceted effect on plant growth through the biological fixation of atmospheric nitrogen, the production of phytohormones, the stimulation of beneficial rhizosphere microorganisms, and antagonistic activity against certain phytopathogenic microorganisms.

3. Field data indicate that the application of an activated *Azotobacter* strain to grain legume crops increases yield by 8–16%, while potato yield under the soil and climatic conditions of Central Tajikistan may reach 252 centners ha^{-1} (25.2 t ha^{-1}).

4. Successful practical implementation of the biofertilizer requires well-established production technology accompanied by rigorous quality control, including verification of strain purity, viable cell concentration, storage stability, and the maintenance of biological efficacy.

5. The integration of Azotobacterin into an integrated plant nutrition system has the potential to reduce dependence on chemical fertilizers, improve the biological quality and fertility of soils, and promote the development of sustainable agricultural systems in the Republic of Tajikistan.

References:

1. Akramov, Yu. (1991). Changes in soil organic matter under the influence of cultivation and fertility improvement. - Dushanbe: Donish. - 160 p.
2. Mishustin, E.N., & Shilnikova, V.K. (1968). Biological fixation of atmospheric nitrogen. - Moscow: Nauka. - 532 p.
3. Mishustin, E.N. (1972). Microorganisms and soil fertility. - Moscow: Nauka. - 344 p.
4. Vozbutskaya, A.E. (1968). Soil chemistry. - Moscow: Vysshaya Shkola. - 428 p.
5. Salimov, K.H. (2014). Influence of natural and technological factors on the regime and state of organic matter in mountain brown calcareous soils of Central Tajikistan. - Dushanbe. - 146 p.
6. Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., & Bennis, I. (2021). Nitrogen-fixing Azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. Frontiers in Microbiology, 12, Article 628379.
7. Koziel, M., Płaza, A., & Gąsiorowska, B. (2024). Free-living bacteria of the genus Azotobacter and their importance in plant production. Journal of Central European Agriculture, 25, 345–358.
8. Ahmad, F., Ahmad, I., & Khan, M.S. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth-promoting activities. Microbiological Research, 163, 173–181.
9. Biological products for agriculture: Methodological recommendations. (2012). - Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences. - 72 p.
10. Improving soil fertility under new land-use conditions. (2012). - Dushanbe. - 96 p.

Information about the authors

K.H. Salimov – Deputy Head of the State Institution «State Commission for Testing Agricultural Crop Varieties and Variety Protection» under the Ministry of Agriculture of the Republic of Tajikistan**,** Dushanbe, Republic of Tajikistan; e-mail: masud_salimov@mail.ru;
Sh.T. Soliev – corresponding author, Candidate of Agricultural Sciences, State Institution «State Commission for Testing Agricultural Crop Varieties and Variety Protection»**,** Dushanbe, Republic of Tajikistan; e-mail: samsiddinsoliev373@gmail.com.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-236-246
УДК 632.934.1
МРНТИ 68.37.13

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЧЕЧЕВИЦЫ СОРТА «ВЕХОВСКАЯ» В УСЛОВИЯХ АКМОЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Амангелді Ж.К.[1], Савенкова И.В.[1*], Пучкова С.Ю.[2]
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[2]Университетский колледж агробизнеса Омского ГАУ, Омск, Россия
[*]Автор для корреспонденции: inna.vital@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты полевых исследований, проведённых в 2025 году, целью которых являлось комплексное изучение влияния минеральных удобрений и химических средств защиты растений (СЗР) в сочетании с биостимулятором на урожайность, а также на отдельные элементы структуры продуктивности чечевицы сорта «Веховская». Актуальность выполненной работы обусловлена необходимостью повышения эффективности технологий возделывания зернобобовых культур в условиях нестабильного и неравномерного увлажнения, а также при различной степени засорённости агроценозов, что характерно для условий Северного Казахстана и сопредельных регионов.

Экспериментальная часть исследований проводилась в Зерендинском районе Акмолинской области. Полевые опыты закладывались на двух контрастных агроценотических фонах: на чистом от сорной растительности участке и на фоне с выраженным сорным предшественником, что позволило более полно оценить реакцию культуры на условия конкуренции со стороны сорного компонента. В качестве агротехнологических приёмов применялись стартовые минеральные удобрения в дозе $N_{12}P_{52}$, а также интегрированная система защиты растений с использованием химических средств в сочетании с регулятором роста «Фульвик». В процессе исследований осуществлялись систематические фенологические наблюдения, проводился анализ морфометрических показателей растений, оценивались элементы структуры урожая, включая формирование бобов и семенной продуктивности, а также определялась конечная биологическая урожайность.

Результаты исследований показали, что комплексное применение минерального питания, СЗР и биостимулятора оказывает выраженное положительное влияние на ростовые процессы и продуктивность чечевицы. Отмечено более согласованное и ускоренное прохождение фенофаз, при этом созревание культуры ускорялось на 2–5 суток по сравнению с контрольными вариантами. Также зафиксировано усиление линейного роста стеблестоя, улучшение архитектоники растений, увеличение площади фотосинтетического аппарата и более эффективное формирование генеративных органов, что сопровождалось снижением их абортивности и повышением общей продуктивности посевов.

Максимальные значения биологической урожайности сорта «Веховская» составили 28,0 ц/га на чистом агрофоне и 28,8 ц/га на фоне с сорной растительностью. Незначительная разница между вариантами свидетельствует о высокой пластичности и конкурентоспособности сорта. Полученные данные подтверждают высокую технологическую отзывчивость культуры на элементы интенсивной технологии возделывания и демонстрируют стабильность формирования урожая в различных агроэкологических условиях. Результаты исследования могут быть использованы при разработке и совершенствовании ресурсосберегающих, адаптивных и экологически ориентированных технологий.

Ключевые слова: чечевица обыкновенная, сорт «Веховская», средства защиты растений, минеральные удобрения, урожайность, биометрические показатели, Акмолинская область.

АҚМОЛА ОБЛЫСЫНДАҒЫ «ВЕХОВСКАЯ» ЖАСМЫҚ ӨНІМІНЕ МИНЕРАЛДЫ ТЫҢАЙТҚЫШТАР МЕН ӨСІМДІКТЕРДІ ҚОРҒАУ ӨНІМДЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Амангелді Ж.К.[1], Савенкова И.В.[1*], Пучкова С.Ю.[2]

[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*

[2]Омбы мемлекеттік аграрлық университетінің агробизнес университеттік колледжі, Омбы, Ресей

[*]Хат-хабар үшін автор: inna.vital@mail.ru

Аңдатпа

Мақалада 2025 жылы жүргізілген далалық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің мақсаты минералдық тыңайтқыштар мен өсімдіктерді қорғаудың химиялық құралдарының (ӨҚҚ) биостимулятормен үйлесімде қолданылуының жасымықтың «Веховская» сортының өнімділігіне, сондай-ақ өнімділік құрылымының жекелеген элементтеріне әсерін кешенді түрде зерттеу болды. Жүргізілген жұмыстың өзектілігі Солтүстік Қазақстан және оған іргелес өңірлер жағдайына тән, ылғалданудың тұрақсыз әрі біркелкі болмауы, сондай-ақ агроценоздардың әртүрлі дәрежеде арамшөптермен ластануы жағдайында дәнді-бұршақты дақылдарды өсіру технологияларының тиімділігін арттыру қажеттілігімен айқындалады.

Зерттеулердің тәжірибелік бөлігі Ақмола облысының Зеренді ауданында жүргізілді. Далалық тәжірибелер екі қарама-қарсы агроценоздық фонда: арамшөптерден таза учаскеде және арамшөпті алғы дақылы айқын байқалатын фонда орналастырылды. Бұл дақылдың арамшөп компоненті тарапынан болатын бәсекелестік жағдайларына реакциясын неғұрлым толық бағалауға мүмкіндік берді. Агротехнологиялық тәсілдер ретінде $N_{12}P_{52}$ мөлшерінде бастапқы минералдық тыңайтқыштар, сондай-ақ химиялық өсімдік қорғау құралдарын «Фульвик» өсу реттегішімен үйлестіре отырып қолдануға негізделген өсімдіктерді қорғаудың интеграцияланған жүйесі пайдаланылды. Зерттеу барысында жүйелі фенологиялық бақылаулар жүргізіліп, өсімдіктердің морфометриялық көрсеткіштеріне талдау жасалды, өнім құрылымының элементтері, оның ішінде бұршаққаптардың түзілуі мен тұқымдық өнімділік бағаланды, сондай-ақ соңғы биологиялық өнімділік анықталды.

Зерттеу нәтижелері минералдық қоректендіруді, ӨҚҚ-ны және биостимуляторды кешенді қолданудың жасымықтың өсу процестері мен өнімділігіне айқын оң әсер ететінін көрсетті. Фенофазалардың неғұрлым үйлесімді әрі жедел өтуі байқалды, бұл ретте дақылдың пісуі бақылау нұсқаларымен салыстырғанда 2–5 тәулікке жеделдеді. Сонымен қатар сабақтардың сызықтық өсуінің күшеюі, өсімдіктер архитектоникасының жақсаруы, фотосинтетикалық аппараттың жапырақ беті ауданының ұлғаюы және генеративті мүшелердің неғұрлым тиімді қалыптасуы анықталды. Бұл олардың абортивтілігінің төмендеуімен және егістіктердің жалпы өнімділігінің артуымен қатар жүрді.

«Веховская» сортының биологиялық өнімділігінің ең жоғары көрсеткіштері арамшөптерден таза агрофонда 28,0 ц/га, ал арамшөпті өсімдіктері бар фонда 28,8 ц/га құрады. Нұсқалар арасындағы шамалы айырмашылық сорттың жоғары пластикалылығын және бәсекеге қабілеттілігін көрсетеді. Алынған деректер дақылдың қарқынды өсіру технологиясының жекелеген элементтеріне жоғары технологиялық жауап беру қабілетін растайды және әртүрлі агроэкологиялық жағдайларда өнімнің тұрақты қалыптасуын көрсетеді. Зерттеу нәтижелері ресурс үнемдейтін, бейімделген және экологиялық бағытталған өсіру технологияларын әзірлеу мен жетілдіру кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Кілт сөздер: кәдімгі жасымық, Веховская сорты, өсімдіктерді қорғау құралдары, минералды тыңайтқыштар, өнімділік, биометриялық көрсеткіштер, Ақмола облысы.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF MINERAL FERTILIZERS AND PLANT PROTECTION PRODUCTS ON THE YIELD OF 'VEKHOVSKAYA' LENTILS IN THE AKMOLA REGION

Zh.K. Amangel'd[1], I.V. Savenkova[1*], S.Yu. Puchkova[2]

[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*

[2]University College of Agribusiness of Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia

[*]Corresponding author: inna.vital@mail.ru

Abstract

The article presents the results of field studies conducted in 2025, aimed at a comprehensive investigation of the effects of mineral fertilizers and chemical plant protection products (PPPs) in combination with a biostimulant on the yield and individual yield components of the 'Vekhovskaya' lentil variety. The relevance of the study is determined by the need to improve the efficiency of grain legume cultivation technologies under conditions of unstable and uneven moisture availability, as well as varying degrees of weed infestation in agrocenoses, which are characteristic of Northern Kazakhstan and adjacent regions.

The experimental part of the study was conducted in the Zerendinsky District of Akmola Region. Field experiments were established on two contrasting agrocenotic backgrounds: a weed-free site and a site with a pronounced weed-infested preceding background. This experimental design made it possible to more comprehensively assess the crop response to competitive pressure from the weed component. The agrotechnological practices included the application of starter mineral fertilizers at a rate of $N_{12}P_{52}$, as well as an integrated plant protection system involving chemical agents in combination with the growth regulator 'Fulvik'. During the study, systematic phenological observations were conducted, morphometric characteristics of the plants were analyzed, yield components were assessed, including pod formation and seed productivity, and final biological yield was determined.

The results demonstrated that the combined application of mineral nutrition, PPPs, and the biostimulant had a pronounced positive effect on the growth processes and productivity of lentils. More synchronized and accelerated progression through the phenological phases was observed, with crop maturity occurring 2–5 days earlier compared with the control treatments. An increase in stem growth, improvement in plant architecture, expansion of the photosynthetic apparatus, and more effective formation of generative organs were also recorded. These changes were accompanied by a reduction in the abortion of reproductive organs and an increase in overall crop productivity.

The maximum biological yield of the 'Vekhovskaya' variety reached 28.0 c/ha under the weed-free agro-background and 28.8 c/ha under the weed-infested background. The minor difference between the treatments indicates the high plasticity and competitive ability of the variety. The obtained results confirm the high technological responsiveness of the crop to intensive cultivation practices and demonstrate the stability of yield formation under different agroecological conditions. The findings can be used in the development and improvement of resource-saving, adaptive, and environmentally oriented cultivation technologies.

Keywords: common lentil, Vekhovskaya variety, plant protection products, mineral fertilizers, yield, biometric indicators, Akmola region.

Введение

В современной системе мирового и отечественного агропроизводства зернобобовые культуры занимают стратегически важное положение. Это обусловлено их уникальной способностью сбалансировать рационы питания человека и сельскохозяйственных животных по растительному белку, а также выполнять важнейшую средообразующую и сидеральную роль в севооборотах. Среди бобовых чечевица обыкновенная (*Lensculinaris* Med.) прочно удерживает лидерство по биологической ценности: содержание легкоусвояемого протеина в её семенах достигает 30–35%. Кроме того, зерно чечевицы богато незаменимыми аминокислотами, фолиевой кислотой, витаминами группы В и целым комплексом макро- и микроэлементов (калий,

фосфор, магний, железо, цинк), сохраняющих стабильность даже после термической обработки [1, 2].

С агрономической точки зрения чечевица является ценнейшим предшественником для зерновых культур в условиях интенсификации земледелия Северного Казахстана. Благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями она способна фиксировать атмосферный азот, переводя его в доступные для последующих культур почвенные соединения, что снижает общую антропогенную нагрузку на ландшафты и способствует биологизации земледелия [3].

Однако практическая реализация генетического потенциала продуктивности современных высокотехнологичных сортов, к числу которых относится перспективный сорт «Веховская», в условиях Акмолинской области сопряжена с рядом серьезных лимитирующих факторов. Данный регион относится к зоне резко континентального, засушливого климата, характеризующегося сильной нестабильностью увлажнения по годам и месяцам, жестким температурным режимом в период вегетации и высокой потенциальной засоренностью пахотного слоя.

Чечевица на ранних этапах своего онтогенеза отличается крайне медленными темпами роста, из-за чего обладает очень низким конкурентным потенциалом по отношению к сорной растительности. Дикорастущие ценотические конкуренты (как однодольные, так и двудольные сорняки) перехватывают доступную почвенную влагу, элементы мобильного питания и солнечную инсоляцию, что приводит к критическому угнетению культуры и потере от 30% до 50% потенциального урожая [4, 5].

В связи с этим традиционные, разрозненные приемы ухода за посевами уступают место необходимости разработки комплексных научно обоснованных систем, совмещающих оптимизацию стартового минерального питания и высокоэффективную химическую защиту растений. Настоящее исследование посвящено изучению параметров влияния минеральных макроудобрений и современных СЗР на биометрические показатели, структуру фитоценоза и финальную семенную продуктивность чечевицы сорта «Веховская» в условиях Зерендинского района Акмолинской области.

Экспериментальная часть работы выполнялась в течение вегетационного сезона 2025 года на базе производственных массивов ТОО «Зеренда-Астык» (Зерендинский район Акмолинской области). Общая площадь заложенного полевого опыта составила 28462 га. Размещение опытных делянок в четырехкратной повторности осуществлялось с применением метода полной рендомизации, что гарантирует высокую степень репрезентативности и статистической достоверности получаемых данных.

Объектом исследования являлась чечевица сорта «Веховская». Посевные и сортовые качества семенного материала, использованного для закладки опыта, строго соответствовали нормативным требованиям ГОСТ 10252-84 [7]. По результатам предварительной лабораторной экспертизы исходные показатели партии семян характеризовались следующими параметрами:

- сортовая чистота - 99,08%;
- масса 1000 семян - 43,05 г;
- энергия прорастания - 93,5%;
- лабораторная всхожесть - 95,8%.

Методика двухфакторного полевого опыта предусматривала дифференцированное изучение агротехнических схем на двух изолированных полях, моделирующих разные агроэкологические условия по предшественникам. Чистый фон (паровое поле,

подготовленное с осени механическими и химическими способами, с минимальным присутствием сорняков). Сорный фон (участок с искусственно смоделированной или естественной высокой степенью засоренности, превышающей экономический порог вредоносности).

Опыт по оценке эффективности применения минеральных удобрений и средств защиты растений на урожайность чечевицы заложен по схеме:

Чистый фон

Вариант 1 (Контроль): без удобрений и химических средств защиты
Вариант 2 ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$
Вариант 3 ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$ + баковая смесь пестицидов (БСП) + биостимулятор + «Фульвик»

Сорный фон

Вариант 1 (Контроль): без удобрений и химических средств защиты
Вариант 2 ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$
Вариант 3 ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$ + баковая смесь пестицидов (БСП) + биостимулятор + «Фульвик»

Все фенологические наблюдения за динамикой наступления фаз развития и биометрические измерения высоты стеблестоя выполнялись по стандартной методике Б. А. Доспехова [8]. Для фиксации биометрических сдвигов на каждой делянке выделяли по 10 типичных модельных растений. Оценка структуры и обилия сорного компонента проводилась наложением стационарных учетных рамок площадью 0,25 м² в соответствии с пособием И. В. Фетюхина [9, 10].

Результаты исследования

Вегетационный период 2025 года в районе проведения опытов характеризовался выраженной континентальностью, неравномерным распределением атмосферных осадков и повышенным термическим режимом в весенне-летние месяцы [11], что оказало сильное влияние на гидротермический коэффициент и общую динамику развития растений (Таблица 1).

Таблица 1. Метеорологические условия 2025 года в районе исследований

Месяц	Температурный режим, °С (текущий год)	Температурный режим, °С (ср. мнгл.)	Количество осадков, мм (текущий год)	Количество осадков, мм (ср. мнгл.)
Январь	-12	-13,3	22	19
Февраль	-11	-13,4	18	16
Март	-2	-2,5	22	20
Апрель	10	5,6	19	24
Май	16	14,6	30	33
Июнь	20	18,6	42	50
Июль	25	23,2	55	57
Август	21	19,5	51	48
Сентябрь	14	12,9	46	43

Анализ метеоданных указывает на существенное превышение среднемноголетних температурных норм в критически важные отрезки времени: в апреле (на 4,4°С), мае (на 1,4°С) и июне (на 1,4°С). На фоне сопутствующего дефицита весенних осадков в мае (30 мм при норме 33 мм) и июне (42 мм при норме 50 мм) посевы развивались в условиях дефицита почвенной влаги, что обострило межвидовую конкуренцию на сорном фоне. Повышенные температуры июля (25°С) ускорили общие темпы прохождения репродуктивных фаз.

Для точной интерпретации результатов специалистами аккредитованной профильной лаборатории ТОО «AgroLab» было проведено детальное агрохимическое обследование почвенного покрова экспериментального участка. Почвы представлены черноземами южными обыкновенными. Результаты послойного анализа представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Горизонт почвы, см	Гумус, %	pH (H_2O)	Общий азот, %	Общий фосфор, %	Общий калий, %	Подвижный $N\text{-}NO_3$, мг/кг	Подвижный P_2O_5, мг/кг	Подвижный K_2O, мг/кг
0–20	5,7	7,0	0,31	0,18	2,51	15,8	29	415
20–40	5,1	7,3	0,27	0,19	2,12	17,8	28	380
40–60	4,3	7,6	0,21	0,10	1,96	15,2	18	325
60–80	3,7	7,7	0,18	0,09	1,87	12,6	13	310
80–100	3,6	7,8	0,18	0,07	1,85	11,9	11	300

Данные таблицы свидетельствуют об умеренно высоком содержании гумуса в верхнем горизонте (5,7%) и нейтральной реакции почвенного раствора (pH=7,0), что оптимально для метаболизма зернобобовых культур. Обеспеченность подвижным калием оценивается как высокая (415 мг/кг), подвижным фосфором - как средняя (29 мг/кг), что обосновывает необходимость локального внесения фосфорсодержащих удобрений.

Мониторинг наступления календарных сроков фенофаз выявил, что системы питания и защиты выступили эффективным регулятором скорости развития растений (Таблица 3).

Таблица 3. Влияние удобрений и СЗР на наступление основных фенофаз чечевицы сорта «Веховская», 2025 г.

Вариант опыта	Всходы	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Плодоношение
Чистый фон					
1. Контроль	13.05	29.05	16.06	28.06	12.07
2. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$	13.05	27.05	14.06	27.06	11.07
3. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$+БСП + биостимулятор + «Фульвик»	13.05	25.05	12.06	25.06	10.07
Сорный фон					
1. Контроль (без обработок)	16.05	31.05	18.06	28.06	18.07
2. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$	16.05	29.05	16.06	27.06	15.07
3. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$+ БСП + биостимулятор + «Фульвик»	16.05	27.05	15.06	25.06	13.07

Полные всходы на чистом фоне зафиксированы 13 мая, в то время как на сорном фоне из-за плотного экранирования почвы сорняками всходы задержались до 16 мая. На чистом фоне комплексное применение СЗР и стимулятора «Фульвик» позволило растениям достичь фазы плодоношения к 10 июля, что на 2 дня опережает контроль.

На сорном фоне этот корригирующий эффект проявился значительно ярче: благодаря полной ликвидации сорняков баковой смесью пестицидов и снятию химического стресса антидотным действием препарата «Фульвик», растения перешли к плодоношению на 5 дней быстрее контрольного засоренного варианта (13 июля против 18 июля). Это имеет решающее производственное значение, позволяя культуре ускоренно сформировать урожай до наступления пика позднелетней воздушной засухи.

Интенсификация ростовых процессов подтверждается также динамикой линейных параметров высоты стебля (Таблица 4).

Таблица 4. Динамика высоты растений чечевицы по фазам вегетации, см

Вариант опыта	Полные всходы	Ветвление	Бутонизация	Цветение	Плодоношение
Чистый фон					
1. Контроль	5	15	25	36	45
2. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$	7	18	29	42	48
3. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$ + БСП + биостимулятор + «Фульвик»	7	18	31	44	49
Сорный фон					
1. Контроль (без обработок)	5	13	21	31	36
2. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$	6	16	28	40	46
3. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$ + БСП + биостимулятор + «Фульвик»	6	16	26	38	43

К завершающей фазе вегетации (плодоношение) высота растений на чистом фоне при использовании минерального удобрения N12P52 (Вариант 2) составила 48 см, что превысило контрольный показатель на 3 см (или на 6,7%). Комплексная схема с подключением СЗР и стимулятора (Вариант 3) обеспечила рост стебля до 49 см (прибавка 4 см, или 8,9% к контролю).

На сорном фоне угнетение растений сорной растительностью в контроле привело к формированию низкорослого стеблестоя (всего 36 см), что затрудняет механизированную уборку direct-combining. При этом внесение стартового удобрения N12P52 (Вариант 2) способствовало активному развитию корневой системы и позволило растениям сформировать высоту 46 см, что выше контроля на 10 см (или на 27,8%). Полноценная схема защиты и питания (Вариант 3) обеспечила высоту 43 см, превысив контроль на 7 см (на 19,4%) и полностью нивелировав негативное влияние засоренности предшественника.

Показатели стартовой густоты стояния растений (в фазу полных всходов) на чистом поле находились в диапазоне 312–321 шт./м². На сорном поле весенняя плотность ценоза за счет обилия всходов сорных трав составила 372–382 шт./м², однако полезная густота стояния именно культурных растений к моменту уборки на контроле резко падала из-за естественного вытеснения.

Анализ элементов структуры продуктивности наглядно демонстрирует, как оптимизация условий выращивания отражается на сохранности репродуктивных органов чечевицы (Таблица 5).

Таблица 5. Структурные показатели генеративных органов чечевицы сорта «Веховская»

Вариант опыта	Количество бутонов, шт.	Количество плодов (бобов), шт.	Процент полезной завязи, %
Чистый фон			
1. Контроль	72	68	94,0
2. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$	75	72	96,0
3. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$ + БСП + биостимулятор + «Фульвик»	79	78	98,4
Сорный фон			
2. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$	68	66	97,0
3. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$ + БСП + биостимулятор + «Фульвик»	70+	68	95,8
3. Удобрение + СЗР + Фульвик	72+	72	97,3

На чистом фоне контрольный вариант сформировал 72 бутона и 68 плодов (бобов), при этом процент полезной завязи составил 94,0%. Применение минерального удобрения $NH_4H_2PO_4$ в дозе $N_{12}P_{52}$ способствовало увеличению количества бутонов до 75 шт. и плодов до 72 шт., а полезной завязи - до 96,0%. Наибольшие показатели отмечены при комплексном применении удобрения + СЗР + Фульвик: количество бутонов достигло 79 шт, плодов - 78 шт, а процент полезной завязи составил 98,4%. По сравнению с контролем количество бутонов увеличилось на 9,7%, плодов - на 14,7%, а полезная завязь - на 4,4 процентного пункта.

На сорном фоне показатели контрольного варианта были несколько ниже по количеству генеративных органов: сформировалось 68 бутонов и 66 плодов, при полезной завязи 97,0%. При внесении минерального удобрения количество бутонов увеличилось до 70+, а плодов - до 68 шт, при этом полезная завязь составила 95,8%. Комплексное применение удобрения + СЗР + Фульвик обеспечило формирование 72+ бутонов и 72 плодов, а полезная завязь достигла 97,3%.

В целом наиболее выраженное положительное влияние на формирование генеративных органов наблюдалось при комплексном применении минерального удобрения, средств защиты растений и биостимулятора Фульвик, особенно на чистом фоне. При этом различия между вариантами по проценту полезной завязи были относительно небольшими, что свидетельствует о высокой способности растений сохранять сформированные бутоны и обеспечивать образование плодов. На сорном фоне абсолютное количество бутонов и плодов было ниже, что может быть связано с конкуренцией сорной растительности за влагу, элементы питания и другие ресурсы.

Относительно высокий показатель завязываемости на сорном контроле (97,0%) носит физиологический компенсаторный характер на фоне общего малого количества бутонов на одном растении [12].

Главным интегрирующим критерием оценки эффективности изучаемых агромероприятий выступает фактический сбор зерна с единицы площади (Таблица 6).

Таблица 6. Урожайность чечевицы сорта «Веховская» в зависимости от вариантов опыта

Варианты опыта	Масса урожая зерна, ц/га	Прибавка к абсолютному контролю, ц/га
Чистый фон		
1. Контроль	21,6	-
2. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$	25,0	+3,4
3. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$ + БСП + биостимулятор + «Фульвик»	28,0	+6,4
Сорный фон		
1. Контроль (без обработок)	23,8	-
2. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$	25,2	+1,4
3. ($NH_4H_2PO_4$) в дозе $N_{12}P_{52}$ + БСП + биостимулятор + «Фульвик»	28,8	+5,0

Полученные данные доказывают высокую экономическую и технологическую отзывчивость сорта «Веховская» на интенсификацию приемов возделывания. На чистом поле изолированное внесение аммофоса дало урожай 25,0 ц/га (+3,4 ц/га к контролю), а подключение СЗР и гуминового стимулятора вывело продуктивность на уровень 28,0 ц/га, гарантируя чистую прибавку 6,4 ц/га.

На сорном фоне одностороннее применение удобрений без гербицидного экрана оказалось малоэффективным — прибавка составила всего 1,4 ц/га, поскольку вносимые питательные вещества интенсивно перехватывались быстрорастущей сорной биомассой. Напротив, комплексный вариант («Удобрение + СЗР») на сорном поле показал максимальную технологическую отдачу, сформировав урожайность 28,8 ц/га и обеспечив чистый прирост в 5,0 ц/га за счет полной элиминации конкурентных видов сорняков и раскрытия адаптивного потенциала растений.

Обсуждение

Приведенные результаты полевых исследований и примеры реализации комплексной технологической схемы свидетельствуют о том, что сочетанное применение стартовых минеральных удобрений, интегрированной химической защиты растений и биостимулятора «Фульвик» существенно облегчает преодоление культурой стрессовых гидротермических факторов и ценотического давления сорной растительности, а также способствует оптимизации биометрических параметров и минимизации абортивности генеративных органов чечевицы.

Полученные схемы и практические данные комплексного ухода за посевами сорта «Веховская» могут быть использованы как в реальной производственной практике сельскохозяйственных предприятий Акмолинской области и Северного Казахстана для максимизации сборов высокобелкового зерна, так и в учебном процессе аграрных вузов при подготовке будущих специалистов в области агрономии, растениеводства и защиты растений.

Заключение

На основании проведенных в 2025 году полевых исследований в Зерендинскомрайоне Акмолинской области можно сформулировать следующие выводы. Совместное применение стартовых макроудобрений ($N_{12}P_{52}$) и интегрированной химической защиты растений в баковой смеси со стимулятором «Фульвик» оптимизирует темпы прохождения фенофаз чечевицы сорта «Веховская», ускоряя

наступление генеративной фазы плодоношения на 2–5 суток, что уберегает урожай от воздействия летней засухи. Комплексная схема обработки активизирует ростовые процессы: высота стеблестоя к моменту уборки увеличивается на 4–10 см (или на 8,8–27,7% в относительном выражении), предотвращая формирование низкорослого полеглого слоя на засоренных участках и облегчая проведение прямого комбайнирования. Наивысшие показатели урожайности чечевицы сорта «Веховская» обеспечиваются при реализации комплексной схемы («Удобрение + СЗР») и составляют 28,0 ц/га на чистом поле (прибавка - 6,4 ц/га) и 28,8 ц/га на сорном фоне (прибавка - 5,0 ц/га). Использование средств защиты растений на засоренных предшественниках является обязательным технологическим условием, без которого внесение минеральных удобрений теряет свою экономическую целесообразность.

Литература:

1. Белышкина М.Е. Проблема производства растительного белка и роль зерновых бобовых культур в ее решении // Природообустройство. - 2018. - № 5. - 65 с.
2. Khazaei H., Subedi M., Nickerson M., Martínez-Villaluenga C., Frias, J., Vandenberg A. Seed Protein of Lentils: Current Status, Progress, and Food Applications. Foods 2019, 8, 391. https://doi.org/10.3390/foods8090391
3. Gan Y., Hamel C., Kutcher H.R., Poppy L. Lentil enhances agroecosystem productivity with increased residual soil water and nitrogen. Renewable Agriculture and Food Systems. 2017;32(4):319-330. https://doi.org/10.1017/S1742170516000223
4. Байшоланов С.С. Агроклиматические особенности вегетационного периода в Акмолинской области // Гидрометеорология и экология. - [Электронный ресурс]. - URL: https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/324
5. Багаева Е.И., Виноградова Н.И. Заболевания зернобобовых культур в лесостепной зоне // Труды Омского сельскохозяйственного института. - Омск: 1994. - Т. 54. - С. 45–56.
6. Erman M., Tepe I., Yazlik A., Levent R. and Ipek K. Effect of weed control treatments on weeds, seed yield, yield components and nodulation in winter lentil. Weed Research, 2004, 44: 305-312. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00404.x
7. ГОСТ 10252-84. Семена чечевицы. Сортовые и посевные качества. Технические условия. - М.: Издательство стандартов, 1984. - 8 с.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). - 5-е изд., доп. и перераб. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
9. Методы учета структуры сорного компонента в агрофитоценозах: учебное пособие / Сост.: И.В. Фетюхин, А.П. Авдеенко, С.С. Авдеенко [и др.]. - Персиановский: Донской ГАУ, 2018. - 76 с.
10. Белоусов А.А. Основы научных исследований в агрономии: электронный учебно-методический комплекс. - Красноярск: ФГОУ ВО «КГАУ», 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://www.kgau.ru/distance/agro_02/belousov_oni-110201/00b_soderz.html
11. Архив климатических данных и метеорологических показателей по Акмолинской области за 2025 год. [Электронный ресурс]. URL: https://www.meteoblue.com/
12. Sita K., Sehgal A., Kumar J., Kumar S., Singh S., Siddique K.H.M., Nayyar H. Identification of High-Temperature Tolerant Lentil (Lens culinaris Medik.) Genotypes through Leaf and Pollen Traits. Front Plant Sci. 2017 May 19; 8:744. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00744.

References:

1. Belyshkina M.Ye. Problema proizvodstva rastitel'nogo belka i rol' zernobobovykh v yeye reshenii // Prirodoustanovstvo. - 2018. - № 5. - 65 s.
2. Khazai KH., Subedi M., Nikerson M., Martines-Vil'yaluenga K., Frias Dzh., Vandenberg A. Belok semyan chechevitsy: tekushcheye sostoyaniye, progress i primeneniye v pishchevoy promyshlennosti. Foods 2019, 8, 391. https://doi.org/10.3390/foods8090391

3. Gan Y., Khamel' K., Kutcher Kh.R., Poppi L. Chechevitsa povyshayet produktivnost' agroekosistemy za schet uvelicheniya ostatochnoy pochvennoy vlagi i azota. Vozobnovlyayemoye sel'skoye khozyaystvo i pishchevyye sistemy. 2017;32(4):319-330. https://doi.org/10.1017/S1742170516000223
4. Baysholanov S.S. Agroklimaticheskiye osobennosti vegetatsionnogo perioda v Akmolinskoy oblasti // Gidrometeorologiya i ekologiya. - [Elektronnyy resurs]. - URL: https://journal.kazhydromet.kz/kazgidro/article/view/324
5. Bagayeva Ye.I., Vinogradova N.I. Bolezni bobovykh kul'tur v lesostepnoy zone // Trudy Omskogo sel'skokhozyaystvennogo instituta. – Omsk, 1994. - T. 54. - S. 45–56.
6. Erman M., Tepe I., Yazlik A., Levent R. i Ipek K. Vliyaniye metodov bor'by s sornyakami na sornyaki, urozhaynost' semyan, komponenty urozhaya i obrazovaniye kluben'kov u ozimoy chechevitsy. Issledovaniya sornyakov, 2004, 44: 305-312. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2004.00404.x
7. GOST 10252-84. Semena chechevitsy. Sortovyye i posevnyye kachestva. Tekhnicheskiye usloviya. - M.: Izdatel'stvo standartov, 1984. - 8 s.
8. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). - 5-ye issledovaniye, ball. i pererab. - M.: Agropromizdat, 1985. - 351 s.
9. Metody ucheta struktury sornoy sostavlyayushchey v agrofitotsenozakh: uchebnik / Sost.: I.V. Fetyukhin, A.P. Avdeyenko, S.S. Avdeyenko [i dr.]. - Persianskiy: Donskoy GAU, 2018. - 76 s.
10. Belousov A.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy v agronomii: elektronnyy uchebno-metodicheskiy kompleks. - Krasnoyarsk: FGOU VO "KGAU", 2016. [Elektronnyy resurs]. URL: https://www.kgau.ru/distance/agro_02/belousov_oni-110201/00b_soderz.html
11. Arkhiv klimaticheskikh dannykh i meteorologicheskikh pokazateley Akmolinskoy oblasti na 2025 god. [Elektronnyy resurs]. URL: https://www.meteoblue.com/
12. Sita K., Sehgal A., Kumar J., Kumar S., Singh S., Siddique K.H.M., Nayyar H. Identifikatsiya vysokotemperaturno-ustoychivykh genotipov chechevitsy (Lens culinaris Medik.) po priznakam list'yev i pyl'tsy. Front Plant Sci. 2017 May 19; 8:744. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00744

Information about the authors

Zh.K. Amangeldi – Master's student AJ-M-25, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC; e-mail: amangeldy_18@inbox.ru; ORCID: 0009-0002-3153-0138;
I.V. Savenkova – Associate Dean for Research and Quality Management, Candidate of Agriculture Sciences, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC; e-mail: inna.vital@mail.ru; ORCID: 0000-0003-2436-4178;
S.Yu. Puchkova – Master's degree holder, lecturer, University College of Agribusiness of Omsk State Agrarian University, Omsk, Russian Federation; e-mail: puchkova-1968@mail.ru; ORCID: 0000-0001-8351-803X.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-247-261
УДК 632.9
МРНТИ 68.47.29, 34.31.21

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИЩНЫХ КЛЕЩЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВРЕДИТЕЛЕЙ В ЯБЛОНЕВЫХ САДАХ

Карабаева А.А.[1*], Копжасаров Б.К.[2], Жапаркулова Г.Б.[1], Аманбек А.[1]
[1]Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан*
[2]ТОО «КазНИИ Защиты и карантина растений имени Ж. Жиембаева», Алматы, Казахстан
[*]Автор для корреспонденции: assel.8485@mail.ru

Аннотация

В условиях Республики Казахстан защита яблоневых насаждений от тетраниховых и плодовых клещей имеет важное хозяйственное значение, поскольку высокая пестицидная нагрузка способствует формированию резистентных популяций фитофагов, снижению численности полезной акарофауны и нарушению экологического равновесия агроценозов. Целью работы являлась оценка эффективности химических и биологических методов контроля паутинных клещей на яблоне и обоснование возможности включения хищных клещей-фитосейид в экологизированную систему защиты садов Казахстана. Обобщены литературные и экспериментальные данные по применению акарицидов и энтомоакарифагов, включая результаты полевых испытаний в странах Центральной Азии и опыт интродукции Amblyseius andersoni в яблоневых садах Алматинской области. Установлено, что химические препараты обеспечивают высокую начальную биологическую эффективность, однако их защитное действие постепенно снижается к 14-21-м суткам после обработки. Наиболее устойчивый эффект в отношении клещей-фитофагов показало применение Amblyseius andersoni: при соотношении хищник: жертва 1:2 численность паутинного клеща снижалась до нулевых значений к 14-м суткам наблюдений. Показано, что безопасная интродукция Phytoseiulus persimilis после применения Биоверта и Metarhizium robertsii возможна через 3 суток, а после Фитоверма и БТБ - не ранее чем через 5 суток. Научная новизна работы заключается в систематизации данных о применении хищных клещей в условиях садовых агроценозов Центральной Азии и в обосновании перспектив использования A. andersoni как элемента интегрированной защиты яблони в юго-восточном Казахстане.

Ключевые слова: паутинный клещ, яблоня, экологизированная защита, интегрированная защита растений, биоэкология, вредоносность, плодовые культуры, акарицид, Amblyseius andersoni, Phytoseiulus persimilis.

АЛМА БАҚТАРЫНДАҒЫ ЗИЯНКЕСТЕРДІ БАҚЫЛАУДА ЖЫРТҚЫШ КЕНЕЛЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІ

Карабаева А.А.[1*], Копжасаров Б.К.[2], Жапаркулова Г.Б.[1], Аманбек А.[1]
[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз Университеті, Тараз, Қазақстан*
[2]ТОО «Ж. Жиембаев атындағы өсімдіктерді қорғау және карантин ҚазҒЗИ», Алматы, Қазақстан
[*]Хат-хабар үшін автор: assel.8485@mail.ru

Аңдатпа

Қазақстан Республикасы жағдайында алма екпелерін тетраних және жеміс кенелерінен қорғау маңызды шаруашылық мәнге ие, өйткені пестицидтік жүктеменің жоғары болуы фитофагтардың төзімді популяцияларының қалыптасуына, пайдалы акарофаунаның азаюына және агроценоздардың экологиялық тепе-теңдігінің бұзылуына әкеледі. Жұмыстың мақсаты - алма ағашындағы өрмекші кенелерді бақылаудың химиялық және биологиялық әдістерінің тиімділігін бағалау және жыртқыш фитосейид

кенелерін Қазақстан бақтарын экологияландырылған қорғау жүйесіне енгізу мүмкіндігін негіздеу. Акарицидтер мен энтомоакарифагтарды қолдану жөніндегі әдеби және эксперименттік деректер, соның ішінде Орталық Азия елдеріндегі далалық сынақ нәтижелері және Алматы облысының алма бақтарында Amblyseius andersoni интродукциялау тәжірибесі жинақталды. Химиялық препараттар өндеуден кейін бастапқы кезеңде жоғары биологиялық тиімділік көрсеткенімен, олардың қорғаныс әсері 14-21 тәулікке қарай төмендейтіні анықталды. Amblyseius andersoni қолдану фитофаг кенелеріне қарсы неғұрлым тұрақты әсер көрсетті: жыртқыш:жемтік арақатынасы 1:2 болғанда өрмекші кененің саны бақылаудың 14-тәулігінде нөлдік деңгейге дейін төмендеді. Биоверт және Metarhizium robertsii қолданғаннан кейін Phytoseiulus persimilis қауіпсіз интродукциясы 3 тәуліктен соң, ал Фитоверм мен БТБ қолданғаннан кейін кемінде 5 тәуліктен соң мүмкін екені көрсетілді. Жұмыстың ғылыми жаңалығы Орталық Азияның бақ агроценоздарында жыртқыш кенелерді қолдану деректерін жүйелеу және A. andersoni түрін Қазақстанның оңтүстік-шығысындағы алма ағашын интеграцияланған қорғау элементі ретінде пайдалану перспективаларын негіздеу болып табылады.

Кілт сөздер: өрмекші кене, алма ағашы, экологияландырылған қорғау, өсімдіктерді интеграцияланған қорғау, биоэкология, зияндылық, жеміс дақылдары, акарицид, Amblyseius andersoni, Phytoseiulus persimilis.

USE OF PREDATORY MITES FOR PEST MANAGEMENT IN APPLE ORCHARDS

A.A. Karabaeva[1*], B.K. Kopzhasarov[2], G. Zhaparkulova[1], A. Amanbek[1]

[1]M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

[2]Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev, Almaty, Kazakhstan

[*]Corresponding author: assel.8485@mail.ru

Adstract

In Kazakhstan, protection of apple orchards against tetranychid and fruit mites is of considerable agricultural importance because intensive pesticide use contributes to resistant phytophagous populations, reduces beneficial acarofauna, and disturbs the ecological balance of orchard agrocenoses. The aim of this study was to evaluate chemical and biological approaches to spider mite control on apple trees and to substantiate the inclusion of predatory phytoseiid mites in ecologized orchard protection systems in Kazakhstan. The paper summarizes literature and experimental data on acaricides and entomoacariphages, including field trials from Central Asia and the experience of Amblyseius andersoni introduction in apple orchards of the Almaty region. The analysis showed that chemical treatments provide high initial biological effectiveness, but their protective effect decreases by 14-21 days after application. The most stable effect against phytophagous mites was obtained with A. andersoni: at a predator: prey ratio of 1:2, the number of spider mites decreased to zero by day 14. Safe release of Phytoseiulus persimilis after Biowert and Metarhizium robertsii treatments is possible after 3 days, whereas after Fitoverm and BTB it should be delayed for at least 5 days. The scientific novelty of the work is the systematization of data on predatory mites in Central Asian orchard agrocenoses and the substantiation of A. andersoni as a promising element of integrated apple protection in southeastern Kazakhstan.

Keywords: spider mite, apple tree, ecologized protection, integrated pest management, bioecology, harmfulness, fruit crops, acaricide, Amblyseius andersoni, Phytoseiulus persimilis.

Введение

Яблоня является одной из основных плодовых культур Казахстана, а промышленные насаждения наиболее широко представлены в Жамбылской, Туркестанской и Алматинской областях. Природно-климатические условия юга и юго-востока страны благоприятны для выращивания яблони, однако одновременно создают условия для развития комплекса вредных организмов, включая яблонную плодожорку, тлей, листоверток, минирующих молей, возбудителей парши и гнилей, а также клещей-фитофагов [4-6]. По данным исследований, потери урожая от фитофагов в Казахстане

могут достигать 28-35%, что подтверждает необходимость совершенствования систем защиты плодовых насаждений [5].

Среди акарокомплекса яблоневых садов особое значение имеют красный плодовый клещ Panonychus ulmi, обыкновенный паутинный клещ Tetranychus urticae, бурый плодовый клещ Bryobia rubrioculus, галловые клещи Eriophyidae, а также виды, имеющие ограниченное распространение на территории Республики Казахстан: садовый паутинный клещ Schizotetranychus pruni Oud. и плодовый коричневый клещ Briobia redicorzevi Reck. Эти фитофаги повреждают листовой аппарат, снижают интенсивность фотосинтеза, вызывают преждевременное опадение листьев, ослабляют рост побегов и ухудшают товарное качество плодов [3,10,11].

Традиционная защита яблоневых садов в значительной степени основана на использовании химических инсектицидов и акарицидов. Несмотря на высокую оперативную эффективность таких обработок, многократное и одностороннее применение препаратов приводит к формированию устойчивых популяций вредителей, уничтожению полезной энтомо- и акарофауны, накоплению пестицидной нагрузки и нарушению экологического равновесия агроценоза [6-8]. Поэтому в современном садоводстве возрастает значение интегрированной защиты растений, сочетающей мониторинг численности вредителей, применение селективных препаратов, агротехнические мероприятия, феромонную дезориентацию и биологический контроль.

Биологический контроль клещей-фитофагов с использованием хищных клещей семейства Phytoseiidae рассматривается как один из наиболее перспективных элементов экологизированной защиты яблони. В практике защиты растений применяются Phytoseiulus persimilis, Amblyseius andersoni и Amblyseius californicus, различающиеся трофической специализацией, устойчивостью к температуре и влажности, способностью к перезимовке и сохранению в агроценозе [14-19]. Преимущество A. andersoni заключается в широком диапазоне температурной активности, способности питаться альтернативным кормом и возможности длительного сохранения в садовых насаждениях.

Вместе с тем эффективность хищных клещей зависит от исходной численности фитофага, соотношения хищник:жертва, сроков интродукции, микроклимата, кратности мониторинга и совместимости с применяемыми препаратами. Непосредственный контакт акарифагов с токсичными химическими или биологическими средствами может снижать их выживаемость и репродуктивную активность, что необходимо учитывать при проектировании интегрированной системы защиты [20-23].

В настоящей статье результаты полевых испытаний акарицидов, проведенных в Республике Узбекистан, использованы не как собственные опыты в Казахстане, а как сравнительный материал по странам Центральной Азии с близкими агроклиматическими условиями. Такой подход позволяет сопоставить краткосрочную эффективность химических обработок с перспективами биологического контроля и обосновать направления адаптации экологизированной защиты яблони к условиям Казахстана. Отдельно учтен опыт применения A. andersoni в садах Алматинской области в 2024-2026 гг., где после интродукции хищного клеща акарицидные обработки на опытных участках не потребовались.

Цель исследования - оценить эффективность химических и биологических методов контроля паутинных и плодовых клещей на яблоне и обосновать возможность включения хищных клещей-фитосейид, прежде всего Amblyseius andersoni, в интегрированную экологизированную систему защиты яблоневых садов Казахстана.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: 1) обобщить данные о биологической эффективности акарицидных препаратов против паутинных клещей на яблоне; 2) сопоставить эффективность химического контроля с результатами применения хищного клеща A. andersoni; 3) оценить совместимость акарифагов с отдельными биологическими препаратами; 4) сформулировать научно обоснованные рекомендации по использованию хищных клещей в экологизированной защите яблони.

Научная новизна работы состоит в систематизации данных по применению хищных клещей-фитосейид в яблоневых агроценозах Центральной Азии и сопредельных регионов, а также в обосновании перспектив использования A. andersoni как элемента интегрированной защиты яблони в условиях юго-востока Казахстана. Практическая значимость заключается в уточнении сроков безопасной интродукции акарифагов после применения биопрепаратов и в формировании подходов к снижению пестицидной нагрузки в промышленных яблоневых садах.

Материалы и методы исследования

Методологическую основу работы составили сравнительно-аналитический подход, обобщение опубликованных экспериментальных данных и анализ результатов применения хищных клещей в яблоневых агроценозах. В качестве источников использованы данные по биологической эффективности химических акарицидов против паутинного клеща на яблоне, результаты исследований по применению хищных клещей-фитосейид, а также материалы по совместимости акарифагов с биологическими препаратами [18-27].

Показатели биологической эффективности химических препаратов и хищных клещей анализировали по динамике средней численности клещей на зараженном листе до обработки и после обработки в установленные сроки учета. Для корректного сопоставления вариантов использовали контрольные значения, что позволяет учитывать естественное изменение численности вредителя без применения защитных мероприятий.

Биологическую эффективность обработок рассчитывали по формуле Абботта (1925) с учетом показателей контроля:

$$Э = ((К - О) / К) \times 100,$$

где: Э - биологическая эффективность, %; К - численность вредителя в контрольном варианте; О - численность вредителя в опытном варианте после обработки. При наличии исходных и последующих учетов применяли также формулу Хендерсона - Тилтона, позволяющую учитывать изменение численности вредителя в опыте и контроле:

$$Э = (1 - (Та \times Св) / (Тв \times Са)) \times 100,$$

где: Тв и Та - численность живых особей в опытном варианте соответственно до и после обработки; Св и Са - численность живых особей в контрольном варианте соответственно до и после обработки.

Совместимость биопрепаратов с Phytoseiulus persimilis оценивали по данным лабораторно-полевых опытов, в которых на листовую поверхность фасоли, обработанную испытуемыми препаратами и заселенную Tetranychus urticae, помещали по 10 особей хищного клеща. Контрольный вариант обрабатывали дистиллированной водой. Чашки Петри выдерживали в климатической камере при 25±1°С, относительной влажности 70±5% и фотопериоде 16:8 часов. Учет жизнеспособности акарифага проводили на 1, 3, 5 и 7-е сутки с использованием бинокулярной оптики [27].

Для статистической обработки количественных данных, представленных в исходных исследованиях, использовали дисперсионный, вариационный и

корреляционный анализ. Различия между вариантами считали достоверными при $p<0,05$. В случаях, когда опубликованные источники содержали только средние значения без дисперсий и повторностей, результаты интерпретировали описательно, без расчета статистической значимости; такие данные использованы для сравнительного анализа тенденций, а не для окончательного доказательства превосходства отдельного препарата.

При интерпретации результатов отдельно учитывали происхождение данных: опыты по ряду химических препаратов были выполнены в Республике Узбекистан и использованы как сравнительный региональный материал, тогда как выводы о перспективах внедрения A. andersoni сформулированы с учетом опыта садов Алматинской области и задач проекта AP25797095 по разработке экологизированной системы защиты яблони в условиях юго-востока Казахстана.

Результаты

Анализ полученных и опубликованных данных показал, что эффективность контроля паутинных клещей зависит от выбранного метода защиты и сроков учета после обработки. Химические акарициды обеспечивали быстрое снижение численности вредителя в первые 3-7 суток, однако в более поздние сроки наблюдалось частичное восстановление популяции. Биологический метод с использованием Amblyseius andersoni характеризовался более постепенным, но устойчивым снижением численности фитофага до полного подавления к 14-м суткам наблюдений.

В таблице 1 представлены сравнительные данные исследования [24] по биологической эффективности инсектицидного препарата Hamla-550 EC (д.в. chlorpyriphos 50% + cypermethrin 5% EC) против клещей на яблоне. Полевые производственные испытания были проведены в фермерском хозяйстве «Ғалаба» Сариасийского района Сурхандаринской области Республики Узбекистан 05.06.2019 г. Эти данные использованы в настоящей работе как региональный сравнительный материал для оценки краткосрочного действия химического контроля [24].

Таблица 1. Биологическая эффективность препарата Hamla-550 EC [24]

№	Варианты	Нормы расхода, л/га	Среднее количество клещей на 1 зараженном листе, экз.					Биологическая эффективность, %, на день			
			до обработки	после обработки, на день							
				3	7	14	21	3	7	14	21
1	Hamla-550 EC (Хамла* 550% эм.к.)	1,0	24,3	6,5	4,3	7,7	10,5	74,6	86,2	77,1	72,4
2	Нурелл Д. 55% к.э (эталон)	1,5	27,6	7,8	5,8	9,2	12,6	73,2	83,1	75,8	70,8
3	Контроль (без обработки)	-	34,8	36,7	43,4	48,1	4,5	-	-	-	-

В таблице 2 приведены результаты оценки биологической эффективности препарата Газелл-Д 55% к.э. против клещей на яблоне. Производственные полевые испытания проводились в фермерском хозяйстве «Ўлжаб ек» Сариасийского района Сурхандаринской области Республики Узбекистан 05.06.2019 г. [25].

Таблица 2. Биологической эффективность препарата Газелл-Д [25]

№	Варианты	Нормы расхода, л/га	Среднее количество клещей на 1 зараженном листе, экз.					Биологическая эффективность, %, на день			
			до обработки	после обработки, на день							
				1	3	7	14	1	3	7	14
1	Газелл-Д 55% к.э.	1,0	6,8	2,2	1,4	2,7	3,4	73,7	85,0	74,1	69,0
2	Нурелл-Д 55% к.э (эталон)	1,0	7,2	2,3	1,6	3,1	3,7	74,1	83,8	72,1	68,6
3	Контроль (без обработки)	-	8,3	10,2	11,4	12,8	13,6	-	-	-	-

Результаты расчёта биологической эффективности испытываемого препарата и эталонного варианта представлены в таблице 3.

В таблице 3 отражена биологическая эффективность препарата Lambda-plyus 20% против паутинного клеща на яблоне по данным полевого опыта, проведенного в фермерском хозяйстве «Тангиберди ота» Юкоричирчикского района Ташкентской области 20.05.2020 г. [25].

Таблица 3. Биологической эффективность препарата Lambda-plyus 20% [25]

№	Варианты	Норма расхода препарата, л/га или кг/га	Среднее количество клещей на 1 зараженном листе, экз.					Биологическая эффективность, %, на день			
			до обработки	после обработки, на день							
				3	7	14	21	3	7	14	21
1	Lambda-plyus 20%	0,03	39,5	7,8	10,4	20,2	35,1	84,2	82,2	74,2	67,7
2	Lambda-plyus 20%	0,1	41,9	6,3	9,4	19,7	35,2	88,0	84,8	76,2	69,5
3	Караче 10% к.э. (эталон)	0,125	42,8	10,6	13,6	23,2	41,5	80,2	78,5	72,6	64,8
4	Контроль (без обработки)	-	43,7	54,7	64,7	86,5	120,4	-	-	-	-

В таблице 4 приведены данные по биологической эффективности препарата Dimethoate 40% против паутинного клеща на яблоне [26].

Таблица 4. Биологической эффективность препарата Dimethoate 40%

№	Варианты	Нормы расхода, л/га	Среднее количество клещей на 1 зараженном листе, экз.					Биологическая эффективность, %, на день			
			до обработки	после обработки, на день							
				1	3	7	14	1	3	7	14
1	Dimethoate 40% a.e.	0,8	39,5	17,5	10,8	10,3	16,4	60,2	78,9	87,9	82,8
2	Dimethoate 40% a.e.	2,0	41,9	7,9	6,9	6,5	13,4	82,7	87,3	91,1	86,8
3	Emaphos 42% a.e.	1,0	45,8	9,2	8,8	10,2	16,3	81,7	85,2	87,2	85,3
	Контроль (без обработки)	-	49,7	54,7	64,7	86,5	120,4	-	-	-	-

Опыт по интродукции хищного клеща Amblyseius andersoni проведен в 2025 г. на насаждениях яблони сорта Делишес в возрасте 5-7 лет в крестьянском хозяйстве «Алатау» (Алматинская область, Талгарский район, с. Жана-Куат) на общей площади 1

га, в схему опыта было заложено 10 вариантов по 10 учетных деревьев в каждом. Выпуск хищного клеща проведен однократно 5 июля 2025 г. Объектом испытаний являлся обыкновенный паутинный клещ Tetranychus urticae. В таблице 5 представлены результаты применения хищного клеща против паутинного клеща на яблоне. В отличие от химических вариантов, действие хищного клеща проявлялось постепенно: биологическая эффективность составила 40% на 1-е сутки, 65% на 3-и сутки, 94% на 7-е сутки и 100% на 14-е сутки.

Таблица 5. Биологической эффективность применения хищного клеща *Amblyseius andersoni*

№	Варианты	Нормы расхода, л/га	Среднее количество клещей на 1 зараженном листе, экз.					Биологическая эффективность, %, на день			
			до обработки	после обработки, на день							
				1	3	7	14	1	3	7	14
1	*Amblyseius andersoni*	1:2	45	30	15,75	2,25	0	40	65	94	100
2	Контроль (без обработки)	-	45	45	64,7	86,5	120,4	-	-	-	-

Проведенное первичное исследование показало, что применяемые биологические препараты при одновременном введении (выпуск акарифага совпадал со сроком обработки биопрепаратами) проявляли токсическое действие на фитосейулюса различной интенсивности (рис. 1) [27].

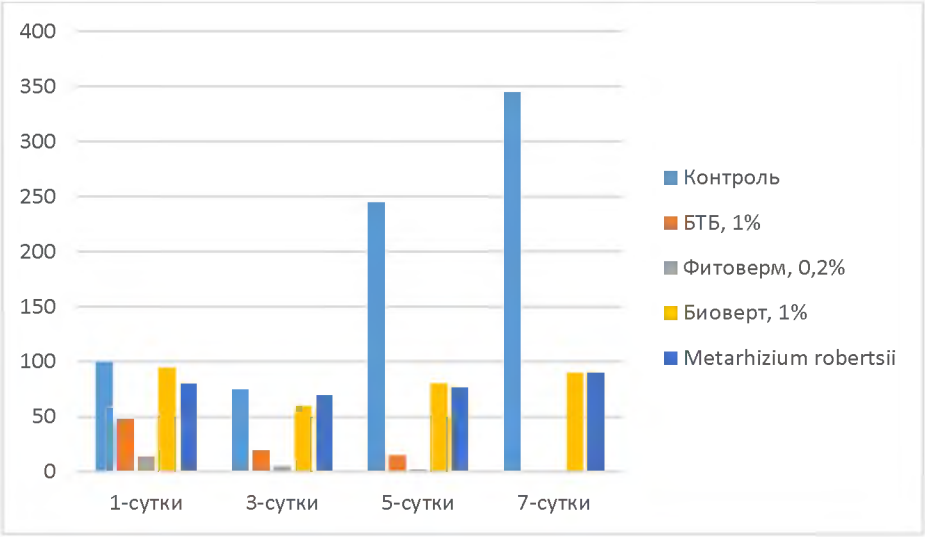


Рисунок 1. Динамика популяции акарифага в сравнении с начальными показателями на момент применения биопрепаратов

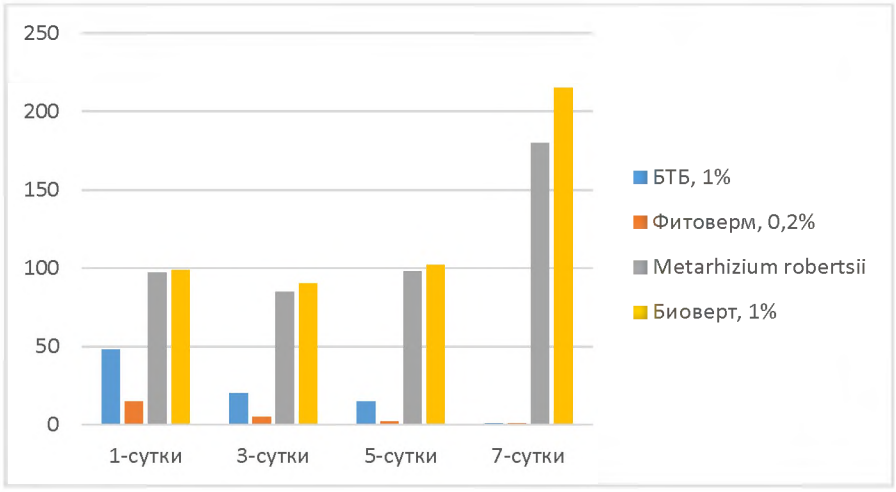


Рисунок 2. Повторное определение численности акарифага относительно исходных данных через одни сутки от момента применения биологических препаратов

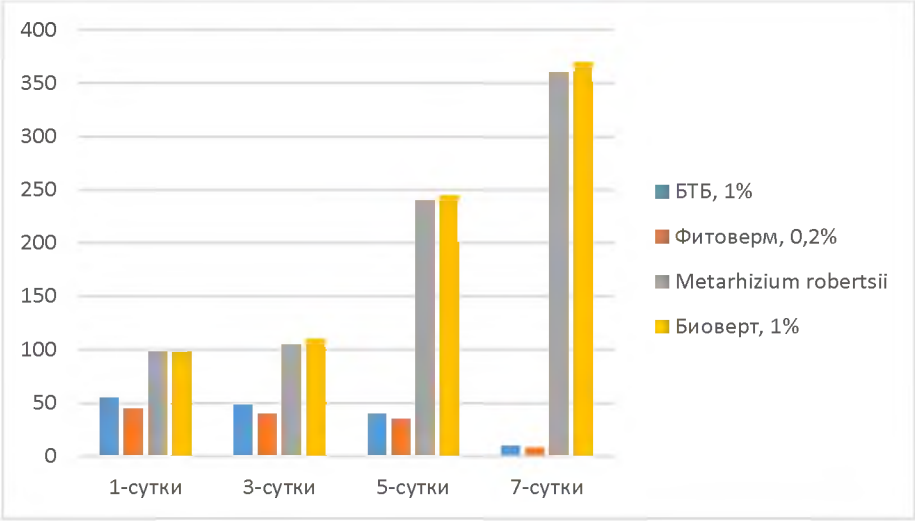


Рисунок 3. Повторное учёт численности акарифага относительно начальных данных через трёхсуточный период после использования биологических препаратов

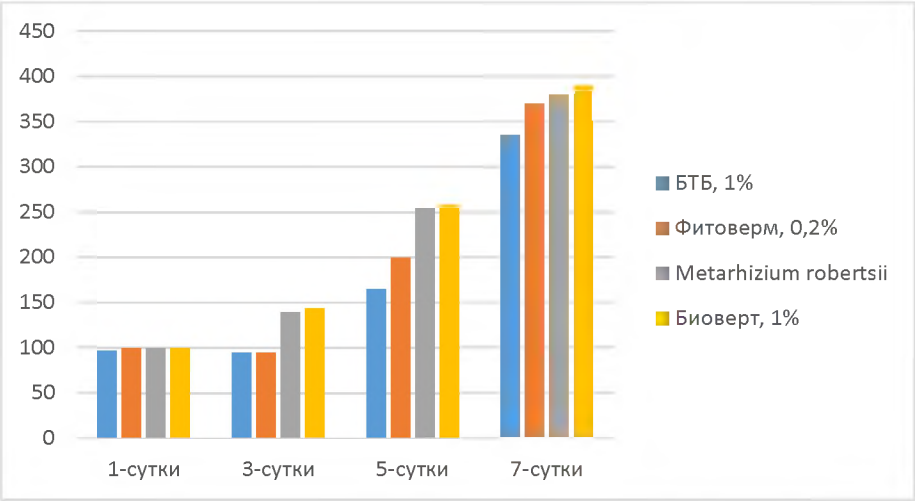


Рисунок 4. Восстановление численности популяции акарифага по сравнению с исходными данными на пятый день после обработки биологическими препаратами

При использовании производственных доз препаратов Битоксибациллин 1% и Фитоверм 0,2% наблюдалось заметное сокращение популяции акарифага. Наибольшую восприимчивость хищный клещ демонстрировал при воздействии Фитоверма в концентрации 0,2%. Действие Битоксибациллина приводило к постепенному увеличению смертности имаго хищного клеща с наибольшей гибелью к седьмому дню наблюдений. В обоих вариантах (с применением БТБ и Фитоверма) развитие яиц, откладываемых самками в постобработочный период, не происходило.

При интродукции акарифага в посадки, подвергшиеся обработке Биовертом (1%) и штаммом энтомопатогенного гриба *Metarhizium robertsii*, наблюдалось некоторое сокращение численности хищного клеща, однако это снижение было не столь выраженным.

Для определения оптимальных сроков выпуска фитосейулюса и его совместимости с микробиологическими препаратами была проведена серия полевых экспериментов. В ходе работы хищного клеща релизировали через различные временные интервалы (1, 3 и 7 дней) после опрыскивания растительного материала, заселённого паутинными клещами, биопрепаратами [27].

Полученные данные свидетельствуют о том, что препараты БТБ и Фитоверм при использовании в рекомендуемых производственных дозировках оказывают выраженное негативное воздействие на фитосейулюса в случае его выпуска в течение первых трёх суток после обработки. При этом Фитоверм демонстрировал более быстрое летальное воздействие в сравнении с БТБ. Рекомендуемый период для безопасной интродукции акарифага начинается не ранее пяти суток после применения указанных препаратов в стандартных нормах внесения.

Спустя трое суток после применения на растениях Биоверта (1%-ный раствор) и грибного штамма Metarhizium robertsii показатели численности акарифага (включая представителей новой генерации, образовавшихся на протяжении наблюдения) не отличались от контрольного образца. В условиях отсутствия негативного воздействия биологических средств на паразитоида фитосейулюса наблюдались следующие закономерности: откладывание яиц самками начиналось уже в первые 24 часа после внедрения, появление первых личиночных форм регистрировалось на третьи сутки,

тогда как интенсивное развитие преимагинальных стадий (личинок и нимф) отмечалось к пятому дню [27].

Выполненные исследования демонстрируют, что внедрение фитосейулюса на растительные культуры, подвергнутые предварительной обработке Биовертом (1%) и Metarhizium robertsii через три дня, а также Фитовермом и БТБ через пять дней, исключает риск неблагоприятного воздействия на как самих хищных клещей, так и их потомство.

На основании полученных результатов установлена возможность одновременного применения поликомпонентных биологических препаратов совместно с хищным клещом при условии, что внесение энтомофага будет осуществлено на предварительно обработанные растения с временным интервалом 3-5 суток. Критически важным условием является предотвращение непосредственного контакта биопрепаратов с популяциями хищных клещей, находящихся на растениях.

Обсуждение

Сравнение химических и биологических методов контроля показало, что акарицидные препараты имеют выраженное начальное действие. Так, Hamla-550 EC обеспечивал 74,6-86,2% эффективности в первые 3-7 суток, Газелл-Д - 73,7-85,0%, Lambda-plyus 20% - 84,2-88,0% на 3-и сутки и 82,2-84,8% на 7-е сутки, а Dimethoate 40% в норме 2,0 л/га достигал 87,3-91,1% эффективности на 3-7-е сутки. Однако к 14-21-м суткам для ряда препаратов отмечалось снижение защитного эффекта, что указывает на временный характер химического контроля и необходимость повторных обработок при сохранении благоприятных условий для развития фитофага.

Полученные данные согласуются с современными представлениями об интегрированной защите растений, согласно которым химические средства целесообразно применять не как единственный способ подавления вредителя, а как элемент системы, основанной на мониторинге, экономических порогах вредоносности и сохранении естественных врагов [1, 6, 8]. Международные исследования также показывают, что преимущества интегрированной защиты яблони зависят от типа вредителя и выбранных производственных показателей, а устойчивость системы повышается при сочетании селективных обработок с биологическим контролем [1].

На фоне химических вариантов применение Amblyseius andersoni обеспечило наиболее полное снижение численности паутинного клеща к 14-м суткам. Биологическая эффективность возрастала от 40% на 1-е сутки до 100% на 14-е сутки, что отражает иной механизм действия: хищный клещ не оказывает мгновенного токсического эффекта, но способен последовательно снижать плотность популяции фитофага. Это особенно важно для экологизированных систем защиты, где приоритетом является не разовая элиминация вредителя, а долговременная стабилизация фитосанитарного состояния агроценоза.

Перспективность A. andersoni для садов Казахстана обусловлена его экологическими особенностями: способностью сохраняться в насаждениях, использовать альтернативный корм, адаптироваться к колебаниям температуры и регулировать численность фитофагов при сниженной инсекто-акарицидной нагрузке [14-19]. Практический опыт интродукции этого вида в садах Алматинской области в 2024-2026 гг. (КХ «Алатау», Талгарский район) подтверждает возможность его использования в системе, где одновременно применяются феромонная дезориентация яблонной плодожорки и отказ от препаратов, токсичных для полезной акарофауны. Эффективность Amblyseius andersoni в полевых условиях определяется комплексом

абиотических и биотических факторов. Температурный оптимум активности вида находится в широком диапазоне (от умеренно прохладных до жарких летних температур юго-востока Казахстана), что выгодно отличает его от более теплолюбивых или узкоспециализированных видов фитосейид [14-19]. Относительная влажность воздуха влияет на выживаемость яиц и личинок хищника: при устойчиво низкой влажности, характерной для аридных зон в летний период, снижается скорость развития преимагинальных стадий, поэтому в засушливые периоды может потребоваться дополнительное орошение кроны или выбор участков с более благоприятным микроклиматом. Плотность популяции жертвы (паутинного клеща) определяет как скорость нарастания численности хищника, так и соотношение хищник:жертва, оптимальное для конкретного этапа сезона - при низкой исходной численности фитофага акарифаг способен переключаться на альтернативный корм (пыльцу, других мелких членистоногих, растительные выделения), что обеспечивает его сохранение в агроценозе в межпиковые периоды и является одним из ключевых преимуществ вида при интеграции в систему защиты яблони.

Важным условием успешной интеграции хищных клещей является совместимость с биопрепаратами. Данные по Phytoseiulus persimilis показывают, что БТБ 1% и Фитоверм 0,2% при непосредственном контакте и выпуске в первые трое суток после обработки оказывают выраженное отрицательное воздействие на акарифага. Более безопасными оказались Биоверт 1% и Metarhizium robertsii: через трое суток после их применения численность хищного клеща существенно не отличалась от контроля. Следовательно, выпуск Ph. persimilis после Биоверта и M. robertsii целесообразно проводить через 3 суток, а после Фитоверма и БТБ - не ранее чем через 5 суток [27].

Следует подчеркнуть, что результаты по химическим препаратам, полученные в Узбекистане, не могут автоматически переноситься на все зоны садоводства Казахстана без полевой валидации. Климат, сортовой состав, структура вредного комплекса, схема обработок и уровень резистентности популяций могут существенно влиять на биологическую эффективность. Поэтому приведенные данные следует рассматривать как сравнительную основу для разработки гипотез и практических схем, которые требуют проверки в условиях юго-восточного Казахстана.

Ограничением настоящего исследования является неоднородность источников данных: часть материалов представлена как опубликованные полевые испытания химических препаратов, часть - как результаты опытов по интродукции и совместимости акарифагов. В частности, для собственного опыта по интродукции A. andersoni (КХ «Алатау», 2025 г., 10 вариантов по 10 учетных деревьев) в первичном учете зафиксированы только средние значения численности вредителя по варианту без индивидуальных данных по повторностям, что не позволило рассчитать дисперсию и доверительные интервалы; результаты по данному опыту, как и по ряду литературных источников, интерпретированы описательно. В связи с этим статистическая достоверность различий между всеми вариантами не всегда может быть рассчитана единым способом. Для повышения доказательности дальнейшие исследования должны включать единый дизайн опыта, не менее 3-4 повторностей с фиксацией индивидуальных значений, учет исходной заселенности листьев, анализ погодных факторов, расчет доверительных интервалов и проверку различий между вариантами при $p<0,05$.

Выводы

1. Анализ данных показал, что химические акарициды обеспечивают высокую начальную биологическую эффективность против паутинного клеща на яблоне. Наиболее выраженное действие отмечалось в первые 3-7 суток после обработки: эффективность Hamla-550 EC достигала 86,2%, Газелл-Д - 85,0%, Lambda-plyus 20% - 84,8%, Dimethoate 40% - 91,1%. Однако к 14-21-м суткам у части препаратов наблюдалось снижение эффективности, что подтверждает временный характер химического контроля.

2. Применение хищного клеща Amblyseius andersoni обеспечило постепенное и устойчивое снижение численности паутинного клеща: биологическая эффективность составила 40% на 1-е сутки, 65% на 3-и сутки, 94% на 7-е сутки и 100% на 14-е сутки. Полученные данные позволяют рассматривать A. andersoni как перспективный биологический агент для экологизированной защиты яблоневых садов Казахстана.

3. Установлено, что интродукция хищных клещей должна проводиться только при сниженной инсекто-акарицидной нагрузке и исключении препаратов, токсичных для полезной акарофауны. Для повышения эффективности биологического контроля необходимо учитывать соотношение хищник:жертва, влажность, температуру, исходную численность фитофага и возможность повторной интродукции.

4. Совместное применение акарифагов и биопрепаратов возможно при соблюдении безопасных интервалов. После обработки Биовертом 1% и Metarhizium robertsii выпуск Phytoseiulus persimilis допустим через 3 суток, а после применения Фитоверма 0,2% и БТБ 1% - не ранее чем через 5 суток. Непосредственный контакт биопрепаратов с популяцией хищных клещей следует исключать.

5. Для условий юго-востока Казахстана наиболее обоснованной является интегрированная схема защиты яблони, включающая мониторинг численности клещей-фитофагов, применение селективных препаратов только при превышении экономического порога вредоносности, феромонную дезориентацию чешуекрылых вредителей и интродукцию A. andersoni как основного биологического регулятора численности плодовых и паутинных клещей.

Благодарность

Финансирование. Исследование выполнено в рамках грантового финансирования молодых ученых по проекту «Жас ғалым» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2025-2027 годы, проект AP25797095 «Разработка экологизированной системы защиты яблони от плодовых клещей в условиях юго-востока Казахстана».

Литература:

1. Ryalls James M.W., Garratt Michael P.D., Spadaro Davide, Mauchline Alice L. The benefits of integrated pest management for apple depend on pest type and production metrics. Frontiers in Sustainable Food Systems. Volume 8 – 2024 DOI=10.3389/fsufs.2024.1321067. SSN=2571-581X

2. Abduhakimova G.Z., K.S. Qo'chqarali o'g'li, S.M. Rakhmatjonovich, H. Ali, E.M. Amanbayevich and A.M. Shavkatovna. 2025. Diversity and abundance of mite and moth pests in maloideae orchards with records of their associated natural enemies. Pakistan Journal of Agricultural Research, 38(2): 12-17. DOI | https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2025/38.2.12.17

3. Anorbayev A.R., Rahmonov A. Kh. Apple tree biological effectiveness of the dimethoate against spider mites determination. International Journal of Horticulture and Food Science, 2022; 4(1): 105-107. DOI: https://doi.org/10.33545/26631067.2022.v4.i1b.97

4. Быстрая Г.В., Бербеков В.Н., Алхасов Э.Б. Основные направления экологизации интенсивной технологии выращивания яблони в садовых агроценозах Кабардино-Балкарии // Известия ТСХА. 2016. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-ekologizatsii-intensivnoy-tehnologii-vyraschivaniya-yabloni-v-sadovyh-agrotsenozah-kabardino-balkarii (дата обращения: 14.04.2022).
5. Ажбенов В.К. Защита растений в Казахстане // Защита и карантин растений. - 2006. - № 11. - С. 7-12.
6. Каширская Н.Я., Кочкина А.М. Направления экологизации защиты растений яблони от вредителей и болезней // ссск. 2020. №1-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-ekologizatsii-zaschity-rasteniy-yabloni-ot-vrediteley-i-bolezney (дата обращения: 28.11.2021).
7. Sánchez-Bayo, Francisco & Wyckhuys, Kris. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. Biological Conservation. 232. 10.1016/j.biocon.2019.01.020.
8. Рябчинская Т.А., Харченко Г.Л. Экологизированная стратегия защиты плодовых и ягодных культур // Защита и карантин растений. 2008. №7. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologizirovannaya-strategiya-zaschity-plodovyh-i-yagodnyh-kultur (дата обращения: 27.11.2021).
9. Искендирова Р.А., Мейрханова А.С. Экологизированная система защиты яблоневых садов от плодожорки (laspeyresia pomonella l.) 2016. http://www.rusnauka.com/3_SND_2016/Agricole/1_207855.doc.htm
10. Рахмонов А.Х., Тожиева М.И., Эргашева Х.А. Особенности защиты садов от паутинных клещей // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2022. 5(95).
11. Мухаммадиев Б.К., Рахмонов А.Х. Развитие обыкновенного паутинного клеща (Tetranychus urticae Koch.) на яблоне сорта Ред Делишес и меры борьбы против него // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2021. 5(83). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/11675
12. J. Praslička and J. Huszár. (2004): Influence of temperature and host plants on the development and fecundity of the spider mite Tetranychus urticae (Acarina: Tetranychidae). Plant Protect. Sci., 40: 141–144.
13. Indujja M., Baskaran V., Sumathi E., Venkatesan K. and Anandham R. Population Dynamics and Efficacy of Insecticides against Spider Mite Schizotetranychus baltazari (Tetranychidae) in Curry Leaf Murraya koenigii. Biological Forum – An International Journal, 15(8) (2023): 501-507.
14. Рыбарева, Т.С. Адаптационный потенциал и поведенческие модели интродуцированных в яблоневые сады клещей-фитосейид / Т.С. Рыбарева // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 11–13 сентября 2018 года. – Краснодар: ИП Дедкова С.А. (типография «Гранат»), 2018. – С. 453 456.
15. Рыбарева Т.С. Применение хищных клещей-фитосейид в защите яблони от клещей-фитофагов. Сборник научных трудов НБС-ННЦ, №142, 2016, стр. 179-185.
16. Копжасаров Б.К., Исина Ж.М., Бекназарова З.Б., Темрешев И.И., Сарбасова А.М., Калдыбеккызы Г., Кошмагамбетова М.Ж., Калдыбек Д.Е., Әділ С. Рекомендации по экологизированной системе защиты яблони от комплекса вредителей и болезней на юго-востоке Казахстана. –Алматы: Изд. Нур-Принт, 2023. - 48 с.
17. Бекназарова З.Б., Темрешев И.И., Копжасаров Б.К., Калдыбеккызы Г., Кошмагамбетова М.Ж., Сарбасова А.М., Исина Ж.М., Калдыбек Д.Е. Рекомендации по биологической системе защиты сада от чешуекрылых вредителей. – Алматы: Изд. НурПринт, 2023. – 36 с.
18. E.B. Balykina, T.S. Rybareva, and L.P. Yagodinskaya. Population of tetranychidae mites on apple trees and methods of restraining the number of resistant races in crimea. E3S Web of Conferences 254, 06009 (2021). https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125406009
19. Алейникова, Н.В. Эффективность интродуцированных акарифагов в снижении популяций клещей-фитофагов в местах диапаузы. / Н.В. Алейникова, Т.С. Рыбарева, Л.П. Ягодинская // Магарач. Виноградарство и виноделие. – 2023 – № 4(223). – С. 363-370.
20. Ахатов А.К., Ижевский С.С. Защита тепличных и оранжерейных растений от вредителей (морфология, образ жизни, вредоносность, борьба). – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. – 307 с.
21. S.J. Numa Vergel, R.A. Bustos, C.D. Rodriguez, R.F. Cantor. Laboratory and greenhouse evaluation of the entomopathogenic fungi and garlic–pepper extract on the predatory mites, Phytoseiulus persimilis and Neoseiulus californicus and their eff ect on the spider mite Tetranychus urticae // Biol Control. – 2011. – N 57. – P. 143–149.

22. Weinan Sun, Xuenong Xu, Ruixia Men, Zhongren Lei. Eff ects of Beauveria bassiana on predation and behavior of the predatory mite Phytoseiulus persimilis // Journal of Invertebrate Pathology. – 2018. – P. 51–56.
23. Сухорученко Г.И., Козлова Е.Г., Иванова Г.П. Токсичность химических и микробиологических препаратов в отношении хищного клеща Phytoseiulus persimilis A.-H. // Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем // Материалы третьего всероссийского съезда по защите растений. – СПб., 2013. – Т.II. – С. 103–107.
24. Анорбаев А.Р., Раҳмонов А.Х. Биологическая эффективность препарата hamla-550 ec против паутинного клеща (tetranychus urticae koch) на яблоне // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2022. 4(94). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/13323
25. Анорбаев А.Р., Раҳмонов А.Х. Эффективность инсектоакарацида газелл-д 55% к.э против вредителей яблони // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2022. 4(94). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/13331
26. Анорбаев А.Р., Рахмонов А.Х. Эффективность препарата lambda-plyus 20% против паутинного клеща на яблоне // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. 2021. 10(88). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12295
27. А.А. Зенкова, Д.Ю. Гаврилова, Р.Р. Колоколов. Влияние биологических препаратов на хищного клеща фитосейулюса. // «Вестник НГАУ» – 4(61)/2021.

References:

1. Ryalls James M.W., Garratt Michael P.D., Spadaro Davide, Mauchline Alice L. The benefits of integrated pest management for apple depend on pest type and production metrics. Frontiers in Sustainable Food Systems. Volume 8 – 2024 DOI=10.3389/fsufs.2024.1321067. SSN=2571-581X
2. Abduhakimova G.Z., K.S. Qo'chqarali o'g'li, S.M. Rakhmatjonovich, H. Ali, E.M. Amanbayevich and A.M. Shavkatovna. 2025. Diversity and abundance of mite and moth pests in maloideae orchards with records of their associated natural enemies. Pakistan Journal of Agricultural Research, 38(2): 12-17. DOI | https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2025/38.2.12.17
3. Anorbayev A.R., Rahmonov A.Kh. Apple tree biological effectiveness of the dimethoate against spider mites determination. International Journal of Horticulture and Food Science, 2022; 4(1): 105-107. DOI: https://doi.org/10.33545/26631067.2022.v4.i1b.97
4. By`straya G.V., Berbekov V.N., Alxasov E.B. Osnovny`e napravleniya e`kologizacii intensivnoj texnologii vy`rashhivaniya yabloni v sadovy`x agrocenozax Kabardino-Balkarii // Izvestiya TSXA. 2016. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-ekologizatsii-intensivnoy-tehnologii-vyraschivaniya-yabloni-v-sadovyh-agrotsenozah-kabardino-balkarii (data obrashheniya: 14.04.2022).
5. Azhbenov V.K. Zashhita rastenij v Kazaxstane // Zashhita i karantin rastenij. - 2006. - N 11. - S. 7-12.
6. Kashirskaya N.Ya., Kochkina A.M. Napravleniya e`kologizacii zashhity` rastenij yabloni ot vreditelej i boleznej // sssk. 2020. №1-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/napravleniya-ekologizatsii-zaschity-rasteniy-vabloni-ot-vreditelev-i-boleznev (data obrashheniya: 28.11.2021).
7. Sånchez-Bayo, Francisco & Wyckhuys, Kris. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. Biological Conservation. 232. 10.1016/j.biocon.2019.01.020.
8. Ryabchinskaya T.A., Xarchenko G.L. E`kologizirovannaya strategiya zashhity` plodovy`x i yagodny`x kul`tur // Zashhita i karantin rastenij. 2008. №7. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ekologizirovannaya-strategiya-zaschity-plodovyh-i-yagodnyh-kultur (data obrashheniya: 27.11.2021).
9. Iskendirova R.A., Mejrxanova A.S. E`kologizirovannaya sistema zashhity` yablonevy`x sadov ot plodozhorki (laspeyresia pomonella l.) 2016. http://www.rusnauka.com/3_SND_2016/Agricole/1_207855.doc.htm
10. Raxmonov A.X., Tozhieva M.I., E`rgasheva X.A. Osobennosti zashhity` sadov ot pautinny`x kleshhej // Universum: ximiya i biologiya: e`lektron. nauchn. zhurn. 2022. 5(95).
11. Muxammadiev B.K., Raxmonov A.X. Razvitie oby`knovennogo pautinnogo kleshha (Tetranychus urticae Koch.) na yablone sorta Red Delishes i mery` bor`by` protiv nego // Universum: ximiya i biologiya: e`lektron. nauchn. zhurn. 2021. 5(83). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/11675
12. J. Praslička and J. Huszár. (2004): Influence of temperature and host plants on the development and fecundity of the spider mite Tetranychus urticae (Acarina: Tetranychidae). Plant Protect. Sci., 40: 141–144.
13. Indujja M., Baskaran V., Sumathi E., Venkatesan K. and Anandham R. Population Dynamics and Efficacy of Insecticides against Spider Mite Schizotetranychus baltazari (Tetranychidae) in Curry Leaf Murraya koenigii. Biological Forum – An International Journal, 15(8) (2023): 501-507.

14. Ry`bareva, T.S. Adaptacionny`j potencial i povedencheskie modeli introducirovanny`x v yablonevy`e sady` kleshhej-fitosejid / T.S. Ry`bareva // Biologicheskaya zashhita rastenij – osnova stabilizacii agroe`kosistem: materialy` Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Krasnodar, 11–13 sentyabrya 2018 goda. – Krasnodar: IP Dedkova S.A. (tipografiya «Granat»), 2018. – S. 453 456.
15. Ry`bareva T.S. Primenenie xishhny`x kleshhej-fitosejid v zashhite yabloni ot kleshhej-fitofagov. Sbornik nauchny`x trudov NBS-NNCz, №142, 2016, str. 179-185.
16. Kopzhasarov B.K., Isina Zh.M., Beknazarova Z.B., Temreshev I.I., Sarbasova A.M., Kaldy`bekky`zy` G., Koshmagambetova M.Zh., Kaldy`bek D.E., Ədil S. Rekomendacii po e`kologizirovannoj sisteme zashhity` yabloni ot kompleksa vreditelej i boleznej na yugo-vostoke Kazaxstana. – Almaty: Izd. Nur-Print, 2023. - 48 s.
17. Beknazarova Z.B., Temreshev I.I., Kopzhasarov B.K., Kaldy`bekky`zy` G., Koshmagambetova M.Zh., Sarbasova A.M., Isina Zh.M., Kaldy`bek D.E. Rekomendacii po biologicheskoj sisteme zashhity` sada ot cheshuekry`ly`x vreditelej. – Almaty: Izd. NurPrint, 2023. – 36 s.
18. E.B. Balykina, T.S. Rybareva, and L.P. Yagodinskaya. Population of tetranychidae mites on apple trees and methods of restraining the number of resistant races in crimea. E3S Web of Conferences 254, 06009 (2021). https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125406009
19. Alejnikova, N.V. E`ffektivnost` introducirovanny`x akarifagov v snizhenii populyacij kleshhej-fitofagov v mestax diapauzy`. / N.V. Alejnikova, T.S. Ry`bareva, L.P. Yagodinskaya // Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie. – 2023 – № 4(223). – S. 363-370.
20. Axatov A.K., Izhevskij S.S., Zashhita teplichny`x i oranzherejny`x rastenij ot vreditelej (morfologiya, obraz zhizni, vredonosnost`, bor`ba) (Protection of greenhouse and greenhouse plants from pests (mor phology, lifestyle, harmfulness, control)), - Moscow: Tovarishhestvo nauchny`x izdanij KMK, 2004. - 307 p.
21. Numa Vergel S.J., Bustos R.A., Rodriguez C.D., Cantor R.F., Laboratory and greenhouse evaluation of the entomopathogenic fungi and garlic–pepper extract on the predatory mites, Phytoseiulus persimilis and Neoseiulus californicus and their effect on the spider mite Tetranychus urticae, Biol Control, 2011, No. 57, pp. 143–149.
22. Weinan Sun, Xuenong Xu, Ruixia Men, Zhongren Lei, Effects of Beauveria bassiana on predation and be havior of the predatory mite Phytoseiulus persimilis, Journal of Invertebrate Pathology, 2018. - P. 51-56.
23. Suxoruchenko G.I., Kozlova E.G., Ivanova G.P., Fitosanitarnaya optimizaciya agroe`kosistem (Phytosanitary optimization of agroecosystems), Materialy` tret`ego vserossijskogo s``ezda po zashhite rastenij, Sankt-Peterburg, 2013, T. II, pp. 103–107. (In Russ)
24. Anorbaev A.R., Raxmonov A.X. Biologicheskaya e`ffektivnost` preparata hamla-550 ec protiv pautinnogo kleshha (tetranychus urticae koch) na yablone // Universum: ximiya i biologiya: e`lektron. nauchn. zhurn. 2022. 4(94). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/13323
25. Anorbaev A.R., Raxmonov A.X. E`ffektivnost` insektoakaracida gazell-d 55 % k.e` protiv vreditelej yabloni // Universum: ximiya i biologiya: e`lektron. nauchn. zhurn. 2022. 4(94). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/13331
26. Anorbaev A.R., Raxmonov A.X. E`ffektivnost` preparata lambda-plyus 20% protiv pautinnogo kleshha na yablone // Universum: ximiya i biologiya: e`lektron. nauchn. zhurn. 2021. 10(88). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12295
27. A.A. Zenkova, D.Yu. Gavrilova, R.R. Kolokolov. Vliyanie biologicheskix preparatov na xishhnogo kleshha fitosejulyusa. // «Vestnik NGAU» – 4(61)/2021

Information about the authors

A.A. Karabaeva – corresponding author, Master of Biological Sciences, NJSC "M.Kh. Dulaty Taraz University", Taraz, Kazakhstan; e-mail: assel.8485@mail.ru; ORCID: 0009-0007-4974-7665;
B.K. Kopzhasarov – Candidate of Biological Sciences, LLP "Zh. Zhiembayev Kazakh Research Institute for Plant Protection and Quarantine", Almaty, Kazakhstan; e-mail: plantprotectionkz@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4205-5387;
G. Zhaparkulova – Master of Biological Sciences, NAO "M.Kh. Dulaty Taraz University" Taraz, Kazakhstan; e-mail: info@dulaty.kz, gulshat_zhaparkulova@mail.ru, ORCID: 0009-0003-7738-185X;
A. Amanbek – Master of Biological Sciences, NAO "M.Kh. Dulaty Taraz University" Taraz, Kazakhstan; e-mail: info@dulaty.kz, amanbek.azi@mail.ru, ORCID: 0009-0001-7103-0915.

**ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ /
TECHNICAL SCIENCES**

DOI 10.54596/2958-0048-20206-3-262-271
УДК 004.93:616.8
МРНТИ 28.23.15

МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ЭЭГ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОГНИТИВНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Ибраева М.А.[1*], Герасимова Ю.В.[1]
[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*
[*]Автор для корреспонденции: moldir.ibrayeva1801@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются методы цифровой обработки электроэнцефалографических сигналов и алгоритмы машинного обучения, применяемые для оценки когнитивных состояний человека на основе открытого набора ЭЭГ-данных. Электроэнцефалография является одним из наиболее информативных неинвазивных методов исследования функциональной активности головного мозга, однако анализ ЭЭГ-сигналов осложняется низким отношением сигнал/шум, межиндивидуальной вариативностью и наличием артефактов различной природы.

Исследование выполнено с использованием открытого набора ЭЭГ-данных, зарегистрированных при выполнении когнитивных задач, связанных с креативным мышлением. Программный конвейер обработки включает этапы полосовой и режекторной фильтрации, подавления артефактов, спектрального анализа в стандартных частотных диапазонах, а также анализа функциональной связности на основе метрик фазовой синхронизации. На основе полученных характеристик формируется вектор признаков, используемый для классификации когнитивных состояний с применением методов машинного обучения.

Экспериментальные результаты показывают, что комбинирование спектральных и функционально связанных признаков позволяет повысить точность классификации когнитивных состояний по сравнению с использованием только спектральных характеристик. Полученные результаты подтверждают перспективность применения методов цифровой обработки ЭЭГ и машинного обучения для автоматизированной оценки когнитивных состояний человека.

Ключевые слова: электроэнцефалография, когнитивные состояния, цифровая обработка сигналов, функциональная связность, машинное обучение.

АДАМНЫҢ КОГНИТИВТІК КҮЙЛЕРІН БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН ЭЭГ СИГНАЛДАРЫН ЦИФРЛЫҚ ӨҢДЕУ ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІ

Ибраева М.А.[1*], Герасимова Ю.В.[1]
[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: moldir.ibrayeva1801@gmail.com

Аңдатпа

Бұл жұмыста ашық қолжетімді электроэнцефалографиялық деректер жиынтығын пайдалана отырып, адамның когнитивтік күйлерін бағалауға арналған ЭЭГ сигналдарын цифрлық өңдеу әдістері мен машиналық оқыту алгоритмдері қарастырылады. Электроэнцефалография мидың функционалдық

белсенділігін зерттеудің инвазивті емес және жоғары уақыттық ажыратымдылыққа ие әдістерінің бірі болып табылады, алайда ЭЭГ деректерін талдау шудың, артефактілердің және жеке ерекшеліктердің әсерінен күрделене түседі.
Зерттеу барысында ЭЭГ сигналдарын сүзгілеу, артефактілерді басу, спектрлік талдау және фазалық синхронизацияға негізделген функционалдық байланыстылықты бағалау қамтылған бағдарламалық өңдеу конвейері қолданылды. Алынған спектрлік және байланыстылық белгілерін біріктіру машиналық оқыту алгоритмдері арқылы когнитивтік күйлерді жіктеу дәлдігін арттыратыны көрсетілді.

Кілт сөздер: электроэнцефалография, когнитивтік күйлер, сигналдарды цифрлық өңдеу, функционалдық байланыстылық, машиналық оқыту.

METHODS OF DIGITAL EEG PROCESSING AND MACHINE LEARNING FOR ASSESSING HUMAN COGNITIVE STATES

M.A. Ibrayeva[1*], Y.V. Gerasimova[1]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: moldir.ibrayeva1801@gmail.com

Abstract
This paper presents methods of digital processing of electroencephalographic (EEG) signals and machine learning algorithms for assessing human cognitive states based on an open-access EEG dataset. Electroencephalography is a widely used non-invasive technique for studying brain functional activity due to its high temporal resolution. However, EEG signal analysis is challenged by low signal-to-noise ratio, inter-subject variability, and the presence of artifacts, which necessitates the use of advanced digital signal processing methods.
The study employs an open EEG dataset recorded during the performance of cognitive tasks associated with creative thinking. The proposed processing pipeline includes band-pass and notch filtering, artifact suppression, spectral analysis in standard frequency bands, and functional connectivity analysis based on phase synchronization metrics. Spectral and connectivity features are combined to form an informative feature space for machine learning-based classification of cognitive states.
Experimental results demonstrate that the joint use of spectral characteristics and functional connectivity measures improves classification accuracy compared to the use of spectral features alone. The obtained results confirm the effectiveness of digital EEG processing and machine learning methods for automated assessment of cognitive states and highlight their potential for further development of real-time cognitive monitoring systems.

Keywords: EEG, cognitive states, digital signal processing, functional connectivity, machine learning.

Введение

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к исследованию когнитивных состояний человека с использованием неинвазивных нейрофизиологических методов. Одним из наиболее распространённых и информативных таких методов является электроэнцефалография (ЭЭГ), позволяющая регистрировать электрическую активность головного мозга с высокой временной разрешающей способностью. Благодаря этим особенностям ЭЭГ широко применяется в нейронауке, клинической диагностике, исследованиях интерфейсов «мозг–компьютер», а также в задачах мониторинга когнитивных и психоэмоциональных состояний человека

Сигналы ЭЭГ отражают сложные нелинейные процессы, связанные с синхронизацией и взаимодействием нейронных ансамблей коры головного мозга. При этом анализ ЭЭГ существенно осложняется низким отношением сигнал/шум, высокой межиндивидуальной вариативностью, а также наличием артефактов различной природы, включая мышечную активность, движения глаз и внешние электромагнитные помехи. В

связи с этим эффективное исследование когнитивных состояний на основе ЭЭГ требует применения современных методов цифровой обработки сигналов, направленных на повышение качества данных и извлечение информативных признаков [1].

Особый интерес в рамках современных исследований представляет анализ креативности как когнитивного состояния, связанного с процессами генерации и оценки новых идей. Креативность играет ключевую роль в научной, инженерной и образовательной деятельности, однако до настоящего времени остаётся сложной для объективной количественной оценки. Нейрофизиологические исследования показывают, что креативное мышление сопровождается специфическими изменениями ЭЭГ-активности, прежде всего в альфа-диапазоне, а также динамической перестройкой функциональной связности между различными областями мозга, включая лобные и теменные зоны [2]. В ряде работ подчёркивается, что анализ только локальных спектральных характеристик ЭЭГ не всегда позволяет в полной мере описать сложную организацию когнитивных процессов. В этой связи всё большее внимание уделяется анализу функциональной связности ЭЭГ, рассматривающему мозг как распределённую сеть взаимодействующих нейронных систем. Показано, что изменения в паттернах функциональной связности являются чувствительными маркерами когнитивных состояний и могут служить информативными признаками при их классификации [3].

Дополнительные возможности для автоматизированной оценки когнитивных состояний открывает применение методов машинного обучения. Алгоритмы классификации позволяют выявлять сложные закономерности в многомерных наборах признаков и обеспечивают более высокую точность распознавания когнитивных состояний по сравнению с традиционными статистическими подходами. Исследования показывают, что использование комбинированных наборов признаков, включающих как спектральные характеристики, так и показатели функциональной связности, способствует повышению эффективности классификации когнитивных и креативных состояний [4].

Целью настоящей работы является исследование методов цифровой обработки ЭЭГ и алгоритмов машинного обучения для оценки когнитивных состояний человека на основе открытого набора данных. В работе анализируется информативность спектральных характеристик и показателей функциональной связности ЭЭГ, а также оценивается их эффективность при классификации когнитивных состояний, связанных с креативным мышлением.

Материалы и методы исследования

Описание набора данных. В работе использовался открытый набор ЭЭГ-данных [5]. Представленный набор данных включает сигналы ЭЭГ, зарегистрированные во время выполнения участниками творческих заданий. В эксперименте участвовали 29 студентов. Сигналы ЭЭГ регистрировались с помощью 64-канального BrainVision actiCHamp с частотой дискретизации 500 Гц.

Эксперимент был основан на модифицированной версии теста Торренса на креативное мышление. Участникам предлагалось 3 незаконченных наброска, и выполнить 3 различные упражнения на креативность: генерация идей, развитие идей и оценку идей. На этапе генерации идей, участником требовалось завершить эскиз на основе первоначальных впечатлений. Задание на оценку идеи предполагало создание рисунка, отличающегося от начального варианта. Каждой эпохе ЭЭГ-сигнала сопоставляется метка класса, определяемая экспериментальной разметкой. Каждая эпоха рассматривается как независимое наблюдение, что позволяет существенно увеличить

объём обучающей выборки и повысить устойчивость моделей. Задача машинного обучения в данной работе формулируется как задача бинарной классификации когнитивных состояний на основе ЭЭГ-сигналов.

В соответствии с экспериментальным протоколом выделяются два класса: генерация идей - состояние спонтанного, дивергентного мышления, характеризующееся активным поиском и созданием новых идей; оценка идей - аналитическое состояние, связанное с проверкой, сравнением и отбором решений.

Обучающая выборка формируется путём сегментации непрерывных ЭЭГ-записей на временные эпохи фиксированной длительности. Для каждой эпохи рассчитывается вектор признаков и соответствующая метка класса. Разметка данных основана на экспериментальных метках, синхронизированных с выполнением креативных заданий. Такой подход обеспечивает высокую достоверность целевых меток, однако не исключает возможных переходных состояний между классами, что дополнительно усложняет задачу классификации.

Предварительная обработка сигналов ЭЭГ. Цель предварительной обработки сигналов заключается в повышении отношения сигнал–шум и приведении данных к форме, пригодной для последующего количественного и статистического анализа. На этом этапе осуществляется подавление медленных дрейфов, высокочастотных шумов, сетевых помех, а также нормализация пространственной структуры многоканальных данных.

Предварительная обработка выполняется над непрерывными сигналами и является критически важной, поскольку ошибки на этом этапе могут привести к искажению спектральных характеристик и ложным выводам при анализе когнитивных процессов.

Первым этапом обработки является полосовая фильтрация сигналов в диапазоне от до 40 Гц. Выбор данного диапазона обусловлен нейрофизиологическими и практическими соображениями. Нижняя граница фильтрации (1 Гц) позволяет эффективно подавить медленные дрейфы базовой линии, возникающие вследствие изменения сопротивления на границе электрод–кожа, а также артефакты, связанные с медленными движениями головы и тела. Верхняя граница (40 Гц) ограничивает вклад высокочастотных шумов, включая электромиографические (ЭМГ) артефакты, которые особенно выражены в диапазоне выше 40–50 Гц.

Фильтрация реализуется с использованием FIR-фильтра с оконной функцией. Применение FIR-фильтров обеспечивает линейную фазовую характеристику, что особенно важно при анализе временных и фазовых параметров ЭЭГ, так как позволяет избежать искажений формы сигнала и временных сдвигов между каналами.

При регистрации ЭЭГ в лабораторных и квазилабораторных условиях существенную роль играют сетевые помехи, обусловленные наводками от электрической сети. В рассматриваемой системе частота сети составляет 50 Гц, что требует применения режекторного фильтра.

Удаление артефактов. Даже после полосовой и режекторной фильтрации ЭЭГ-сигналы, как правило, содержат остаточные артефакты, связанные с движением глаз (EOG), мышечной активностью (EMG), а также нестабильной работой отдельных электродов. Наличие таких артефактов может существенно исказить спектральные и связностные характеристики сигналов, что особенно критично при анализе когнитивных процессов и обучении моделей машинного обучения.

Для подавления артефактов, связанных с движением глаз, используется независимый компонентный анализ (ICA). Метод ICA позволяет разложить

многоканальный сигнал на набор статистически независимых компонент, часть из которых соответствует артефактам.

Спектральный анализ сигналов ЭЭГ. Спектральный анализ ЭЭГ-сигналов выполнялся с целью извлечения признаков, отражающих распределение мощности сигнала по частотным диапазонам. Для каждой временной эпохи вычислялась спектральная плотность мощности с использованием быстрого преобразования Фурье. На основе полученных спектров рассчитывались значения мощности в стандартных частотных диапазонах: тета- (4–7 Гц), альфа- (8–13 Гц) и бета-диапазонах (14–30 Гц). Выбор указанных диапазонов обусловлен их нейрофизиологической значимостью при анализе когнитивных процессов и, в частности, креативного мышления, что подтверждается результатами ранее проведённых исследований [2]. Полученные спектральные характеристики нормализовались и использовались в качестве признаков для последующего анализа.

Анализ функциональной связности сигналов ЭЭГ. Креативные когнитивные процессы характеризуются координацией активности между различными областями мозга. Для описания этих взаимодействий используется анализ функциональной связности.

Когерентность отражает степень линейной взаимосвязи сигналов в частотной области и рассчитывается для каждой пары каналов. Для повышения устойчивости результатов используется усреднение когерентности в заданных частотных диапазонах.

Показатель Phase Locking Value (PLV) используется для оценки фазовой согласованности сигналов. PLV позволяет выявлять нелинейные формы взаимодействия, не фиксируемые методами линейного анализа.

В анализ включены пары электродов, соответствующие лобно-теменным и межполушарным связям: F3–F4, F3–P3, F4–P4, Fz–Pz, C3–C4. Выбор данных пар был основан на априорных нейрофизиологических представлениях о креативном мышлении как процессе, включающем взаимодействие лобных областей, связанных с контролем, планированием и оценкой идей, и теменных областей, участвующих в интеграции сенсорной и ассоциативной информации.

Формирование и отбор признаков. После выполнения этапов предварительной обработки, удаления артефактов и анализа ЭЭГ-сигналов для каждой эпохи формируется вектор признаков, предназначенный для последующего использования в алгоритмах машинного обучения. Вектор признаков объединяет информацию о локальной активности отдельных каналов и о взаимодействии между различными областями мозга.

В соответствии с реализованным программным конвейером, в состав вектора признаков включены следующие группы характеристик: Спектральные признаки, отражающие распределение мощности сигнала в стандартных частотных диапазонах. Эти признаки характеризуют локальную активность корковых областей и широко применяются при анализе когнитивных состояний; Относительные спектральные показатели рассчитывались как отношение мощности соответствующего частотного диапазона к суммарной мощности спектра и использовались для приведения признаков к сопоставимому масштабу; Нелинейные характеристики, в частности спектральная энтропия, которая отражает степень сложности и распределённости спектральной энергии сигнала; Признаки функциональной связности, рассчитанные для заранее выбранных пар каналов (F3–F4, F3–P3, F4–P4, C3–C4, Fz–Pz) с использованием спектральной когерентности и показателя фазовой синхронизации (PLV).

Комбинация спектральных и связностных признаков позволяет учитывать как локальные изменения активности мозга, так и взаимодействие между различными функциональными областями, что является принципиально важным при анализе креативных когнитивных процессов. Используемые признаки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Таблица признаков

Признак	Каналы	Метрика
coh_F3_F4	F3–F4	Coherence, PLV
coh_F3_P3	F3–P3	Coherence, PLV
coh_F4_P4	F4–P4	Coherence, PLV
coh_C3_C4	C3–C4	Coherence, PLV
coh_FZ_PZ	Fz–Pz	Coherence, PLV
delta_power	Все	мощность 1–4 Гц
theta_power	Все	мощность 4–7 Гц
alpha_power	Все	мощность 8–13 Гц
beta_power	Все	мощность 14–30 Гц
relative_alpha	Все	α/total
relative_theta	Все	θ/total
relative_beta	Все	β/total
spectral_entropy	Все	спектральная энтропия
alpha_peak	Все	max α

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках настоящего исследования решалась задача классификации когнитивных состояний человека на основе электроэнцефалографических данных. В качестве входных данных использовались векторы признаков, сформированные на основе спектральных характеристик ЭЭГ и показателей функциональной связности. Каждое наблюдение соответствовало отдельной временной эпохе ЭЭГ-сигнала, ассоциированной с выполнением когнитивной задачи. Задача классификации формулировалась как задача обучения с учителем, где каждому вектору признаков сопоставлялась метка когнитивного состояния, определяемая экспериментальным протоколом открытого набора данных.

В качестве базового алгоритма в данной работе используется логистическая регрессия, которая широко применяется в задачах классификации. В работе также используются нелинейные методы машинного обучения, а именно метод опорных векторов с радиально-базисным ядром (SVM с RBF-ядром) и метод случайного леса

Для оценки качества классификации используются следующие метрики: Точность (Accuracy) – доля правильно классифицированных объектов от общего числа наблюдений; F1-мера – гармоническое среднее между точностью (precision) и полнотой (recall), позволяющее учитывать баланс между количеством правильно распознанных объектов целевого класса и полнотой их обнаружения; AUC ROC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) – площадь под ROC-кривой, характеризующая

способность модели разделять классы при различных значениях порога принятия решения.

Для оценки устойчивости результатов классификации использовалась стратифицированная 5-кратная кросс-валидация. На каждом разбиении обучающая и тестовая выборки формировались с сохранением соотношения классов. Для каждой модели рассчитывались средние значения метрик Accuracy, F1-мера и AUC, а также стандартные отклонения по фолдам кросс-валидации.

На первом этапе экспериментов классификация когнитивных состояний проводилась с использованием только спектральных признаков ЭЭГ. В качестве признаков использовались показатели мощности сигналов в тета-, альфа- и бета-диапазонах, рассчитанные для отдельных каналов ЭЭГ.

На следующем этапе в вектор признаков были дополнительно включены показатели функциональной связности ЭЭГ, рассчитанные на основе метрик фазовой синхронизации между парами каналов. Такой подход позволил учитывать не только локальные изменения активности мозга, но и особенности взаимодействия между различными его областями. Результаты показали, что включение признаков функциональной связности приводит к повышению точности классификации когнитивных состояний по сравнению с использованием только спектральных характеристик (с 60% до 80%). Это свидетельствует о том, что функциональная связность содержит дополнительную информацию о когнитивных процессах, не отражаемую локальными спектральными показателями [6]. Полученные результаты подтверждают представление о когнитивных состояниях как о результатах распределённой сетевой активности мозга [7, 8].

В таблице 2 представлены результаты оценки качества классификации для трёх моделей машинного обучения: логистической регрессии (LogReg), метода опорных векторов (SVM) и случайного леса (RF). В качестве метрик использовались точность (accuracy), F1-мера и площадь под ROC-кривой (AUC).

Таблица 2. Метрики классификации при 5-кратной кросс-валидации

Модель	**Точность ± SD**	**F1-мера ± SD**	**AUC ± SD**
LogReg	0.768 ± 0.025	0.770 ± 0.026	0.826 ± 0.016
SVM	0.813 ± 0.017	0.819 ± 0.018	0.889 ± 0.012
RF	0.830 ± 0.010	0.832 ± 0.009	0.915 ± 0.006

Логистическая регрессия показала наименьшие значения всех рассмотренных метрик: точность составила 0.768 ± 0.025, F1-мера – 0.770 ± 0.026, AUC – 0.826 ± 0.016. Это указывает на ограниченную способность линейной модели учитывать сложные нелинейные зависимости в пространстве ЭЭГ-признаков.

Модель SVM с RBF-ядром продемонстрировала более высокое качество классификации по сравнению с логистической регрессией: точность составила 0.813 ± 0.017, F1-мера – 0.819 ± 0.018, AUC – 0.889 ± 0.012. Полученные результаты свидетельствуют о большей эффективности нелинейной модели при работе с высокоразмерными и коррелированными признаками.

Наилучшие показатели были достигнуты с использованием алгоритма случайного леса. Для данной модели значения точности, F1-меры и AUC составили 0.830 ± 0.010, 0.832 ± 0.009 и 0.915 ± 0.006 соответственно. Это позволяет сделать вывод о том, что

ансамблевые методы, основанные на решающих деревьях, эффективно выявляют сложные нелинейные зависимости в данных ЭЭГ и обеспечивают устойчивое качество классификации.

На рисунке 1 представлено сравнение ROC-кривых для моделей логистической регрессии, метода опорных векторов с RBF-ядром и алгоритма случайного леса. ROC-кривые отражают зависимость доли истинно положительных решений (TPR) от доли ложноположительных решений (FPR) при изменении порога классификации.

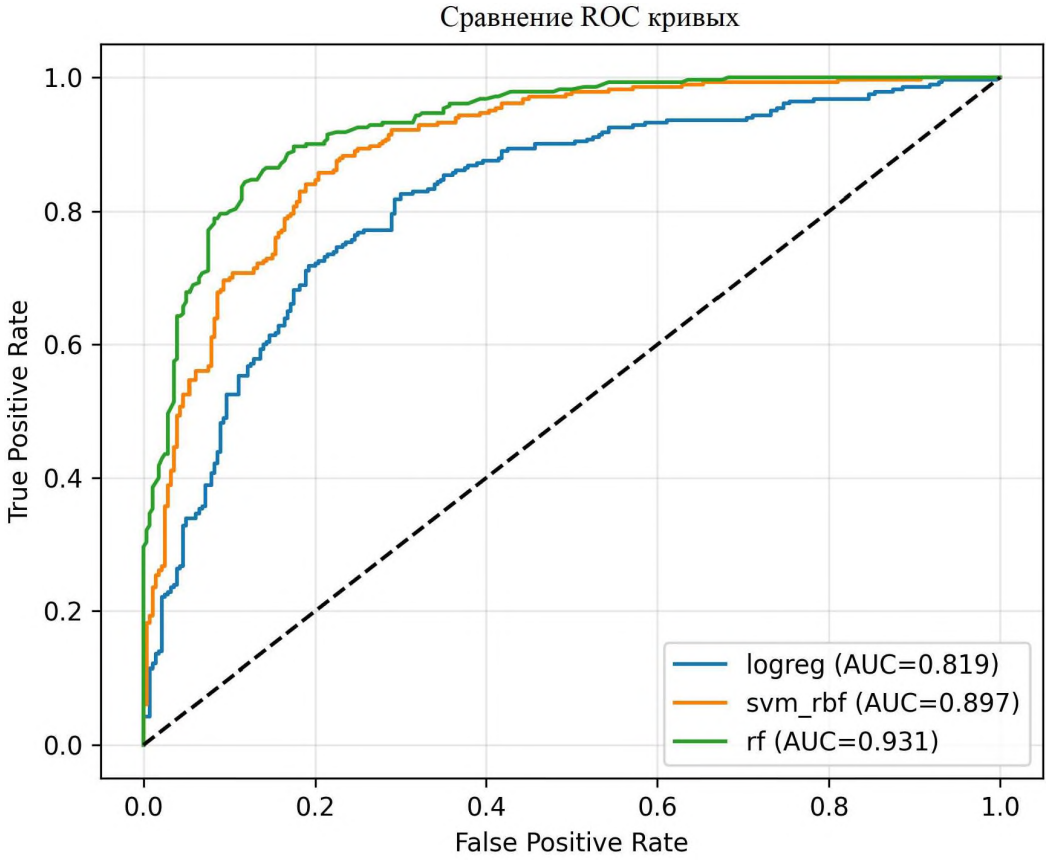


Рисунок 1. ROC кривые

ROC-кривые на рисунке 1 построены по результатам отдельного тестового разбиения данных, поэтому значения AUC на графике могут незначительно отличаться от средних значений AUC, полученных при 5-кратной кросс-валидации. В частности, для отдельного тестового разбиения AUC составили 0.819 для логистической регрессии, 0.897 для SVM-RBF и 0.931 для случайного леса. В таблице 2 представлены усреднённые значения AUC по фолдам кросс-валидации, которые являются более устойчивой оценкой качества моделей.

Заключение

В настоящей работе исследованы методы цифровой обработки электроэнцефалографических сигналов и алгоритмы машинного обучения для оценки когнитивных состояний человека на основе открытого набора ЭЭГ-данных. В ходе исследования был реализован программный конвейер анализа ЭЭГ, включающий этапы предварительной фильтрации, подавления артефактов, спектрального анализа и анализа

функциональной связности. Продемонстрировано, что включение показателей функциональной связности, рассчитанных на основе метрик фазовой синхронизации, позволяет повысить точность классификации когнитивных состояний по сравнению с использованием только спектральных характеристик. Полученные результаты подтверждают представление о когнитивных состояниях как о результатах распределённой сетевой активности мозга и подчёркивают значимость анализа взаимодействий между различными областями мозга.

Наилучшие показатели были достигнуты с использованием алгоритма случайного леса. При стратифицированной 5-кратной кросс-валидации для данной модели значения Accuracy, F1-меры и AUC составили 0.830 ± 0.010, 0.832 ± 0.009 и 0.915 ± 0.006 соответственно. Это позволяет сделать вывод о том, что ансамблевые методы, основанные на решающих деревьях, эффективно выявляют сложные нелинейные зависимости в данных ЭЭГ и обеспечивают устойчивое качество классификации.

Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем при разработке систем мониторинга когнитивных состояний и нейрофизиологических исследований, ориентированных на анализ креативного мышления. Перспективными направлениями дальнейших работ являются расширение используемых наборов данных, исследование устойчивости моделей машинного обучения и адаптация разработанных методов к условиям реального времени.

Литература:

1. Мутикумар Н., Раджендран Н., Сринивасан Р. Недавние достижения в обработке сигналов электроэнцефалографии (ЭЭГ): обзор методов и приложений // Сенсоры. – 2023. – Т. 23, № 16. – С. 6434. https://doi.org/10.3390/s23166434.
2. Финк А., Бенедек М. Мощность альфа-ритма ЭЭГ и креативная идеация // Нейронаука и биоповеденческие обзоры. – 2014. – Т. 44. – С. 111–123.
3. Халеги Н., Хашеми Ш., Пейванди М., Зафарманди Ардабили С., Бехджати М., Шейхиванд С., Данишвар С. Анализ функциональной связности ЭЭГ при аномалиях головного мозга: систематический обзор // Информатика в медицине: открытый доступ. – 2024. – Т. 47. – С. 101476.
4. Стивенс К.Э., Забелина Д.Л. Классификация креативности: применение методов машинного обучения к ЭЭГ-данным дивергентного мышления // Нейроизображение. – 2020. – Т. 219. – С. 116990.
5. Зангене Соруш М., Чжао М., Цзя В., Цзэн Я. Исходные ЭЭГ-записи креативного мышления в задачах проектирования (модифицированный тест креативности Торренса TTCT-F). – 2023.
6. Халеги Н., Хашеми Ш., Пейванди М., Ардабили С.З., Бехджати М., Шейхиванд С., Данишвар С. Анализ функциональной связности ЭЭГ при аномалиях головного мозга: систематический обзор // Информатика в медицине: открытый доступ. – 2024. – Т. 47. – С. 101476.
7. Се В., Толл Р.Т., Нельсон Ч.А. Анализ функциональной связности ЭЭГ в пространстве источников // Развивающая когнитивная нейронаука. – 2022. – Т. 56. – С. 101119.
8. Ромингер К., Папоушек И., Перхтольд К.М., Бенедек М., Вайс Э.М., Вебер Б., Швердтфегер А. Р., Эглофф Б., Финк А. Функциональная связность мозговых сетей во время генерации и разработки креативных идей // NeuroImage. – 2020. – Т. 207. – С. 116395. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116395.

References:

1. Mutikumar, T., Rajendran, N., & Srinivasan, R. (2023). Recent advances in electroencephalography (EEG) signal processing: A review of methods and applications. Sensors, 23(16), 6434. https://doi.org/10.3390/s23166434
2. Fink, A., & Benedek, M. (2014). EEG alpha power and creative ideation. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 44, 111–123.

3. Khaleghi, N., Hashemi, S., Peyvandi, M., Zafarmandi Ardabili, S., Behjati, M., Sheikhivand, S., & Danishvar, S. (2024). EEG functional connectivity analysis in brain disorders: A systematic review. Informatics in Medicine Unlocked, 47, 101476.
4. Stevens, C.E., & Zabelina, D.L. (2020). Creativity classification: Applying machine learning methods to EEG data of divergent thinking. NeuroImage, 219, 116990.
5. Zangeneh Soroush, M., Zhao, M., Jia, W., & Zeng, Y. (2023). Raw EEG recordings of creative thinking in design tasks (modified Torrance Tests of Creative Thinking, TTCT-F).
6. Khaleghi, N., Hashemi, S., Peyvandi, M., Zafarmandi Ardabili, S., Behjati, M., Sheikhivand, S., & Danishvar, S. (2024). EEG functional connectivity analysis in brain disorders: A systematic review. Informatics in Medicine Unlocked, 47, 101476.
7. Xie, W., Toll, R.T., & Nelson, C.A. (2022). Source-space EEG functional connectivity analysis. Developmental Cognitive Neuroscience, 56, 101119.
8. Rominger K., Papousek I., Perchtold C.M., Benedek M., Weiss E. M., Weber B., Schwerdtfeger A.R., Egloff B., Fink A. Functional connectivity of brain networks during the generation and elaboration of creative ideas // NeuroImage. – 2020. – Vol. 207. – P. 116395. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116395.

Information about the authors

M.A. Ibrayeva – graduate student, Department of Energetics and Radioelectronics, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk; e-mail: moldir.ibrayeva1801@gmail.com;
Y.V. Gerasimova – corresponding author, Associate Professor of the Department of Energetics and Radioelectronics, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk; e-mail: julyvic@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1877-383X.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-272-281
ӘОЖ 681.5
ҒТАМА 50.47.29

ФИБРОЦЕМЕНТТІ ПАНЕЛЬДЕРДІ ЛАМИНАТТАУ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ АРҚЫЛЫ ӨНІМДІЛІКТІ ЖӘНЕ ӨНІМ САПАСЫН АРТТЫРУ

Сагындикова А.Г.[1], Жамангарин Д.С.[1*]
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*
[*]Хат-хабар үшін автор: zhamangarin_ds@enu.kz

Аңдатпа

Бұл мақалада фиброцементті панельдерді ламинаттау технологиялық желісінің жұмыс істеу принциптері, өндіріс тиімділігі мен дайын өнім сапасына әсер ететін негізгі технологиялық параметрлер және оларды оңтайландыру тәсілдері қарастырылған. Зерттеу нысаны ретінде өнеркәсіптік PURETE автоматтандырылған ламинация желісі таңдалып, нақты өндірістік режимдер негізінде технологиялық процесс кешенді түрде талданды. Ламинатор температурасы, пресс қысымы және тасымалдау жылдамдығының фиброцементті панельдердің беткі қабатының адгезиясы, біртектілігі және ақаусыздығына тигізетін әсері эксперименттік жолмен бағаланды. Зерттеу барысында көпфакторлы Taguchi эксперименттік жобалау әдісі қолданылып, технологиялық параметрлердің өзара ықпалы мен олардың өнім сапасына әсер ету дәрежесі анықталды. Сигнал–шуға қатынас көрсеткіштері негізінде өнім сапасын арттыруға бағытталған оңтайлы параметрлер комбинациясы ұсынылды. Алынған нәтижелер ламинаттау процесінің тұрақтылығын қамтамасыз етуге, ақаулы өнім үлесін азайтуға және энергия мен материалдық ресурстарды үнемдеуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Ұсынылған оңтайландыру тәсілдерінің өнеркәсіптік жағдайда енгізілу мүмкіндігі дәлелденіп, оларды фиброцемент өндірісінде қолданудың практикалық маңыздылығы негізделді.

Кілт сөздер: фиброцементті панель, ламинация желісі, температура, қысым, жылдамдық, оңтайландыру.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ЛАМИНАЦИИ ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Сагындикова А.Г.[1], Жамангарин Д.С.[1*]
[1]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*
[*]Автор для корреспонденции: zhamangarin_ds@enu.kz

Аннотация

В статье рассмотрены принципы функционирования технологической линии ламинирования фиброцементных панелей, а также основные технологические параметры, влияющие на производственную эффективность и качество готовой продукции, и методы их оптимизации. В качестве объекта исследования выбрана промышленная автоматизированная линия ламинирования PURETE, на основе реальных производственных режимов которой был проведён комплексный анализ технологического процесса. Экспериментальным путём оценено влияние температуры ламинатора, давления прессования и скорости транспортировки на адгезию, однородность и бездефектность поверхностного слоя фиброцементных панелей. В ходе исследования применён многофакторный метод экспериментального планирования Taguchi, позволивший определить степень взаимного влияния технологических параметров и их воздействие на качество продукции. На основе показателей отношения сигнал/шум предложена оптимальная комбинация технологических параметров, направленная на повышение качества продукции. Полученные результаты показали возможность обеспечения стабильности процесса ламинирования, снижения доли бракованной продукции и экономии энергетических и материальных ресурсов. Обоснована возможность внедрения предложенных методов

оптимизации в промышленных условиях и их практическая значимость для производства фиброцементных изделий.

Ключевые слова: фиброцементная панель, линия ламинирования, температура, давление, скорость, оптимизация.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL LINES FOR LAMINATION OF FIBER CEMENT PANELS TO IMPROVE PRODUCTIVITY AND PRODUCT QUALITY

A.G. Sagyndikova[1], D.S. Zhamangarin[1*]
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: zhamangarin_ds@enu.kz

Abstract

This paper examines the operating principles of a fiber cement panel lamination production line, as well as the main technological parameters affecting production efficiency and final product quality, and approaches to their optimization. An industrial PURETE automated lamination line was selected as the research object, and a comprehensive analysis of the technological process was carried out based on actual production conditions. The effects of laminator temperature, pressing pressure, and conveying speed on the adhesion, uniformity, and defect-free quality of the surface layer of fiber cement panels were experimentally evaluated. During the study, a multi-factor Taguchi experimental design method was applied to determine the interaction of technological parameters and their influence on product quality. Based on signal-to-noise ratio indicators, an optimal combination of technological parameters aimed at improving product quality was proposed. The results demonstrated the potential to ensure lamination process stability, reduce the proportion of defective products, and achieve savings in energy and material resources. The feasibility of implementing the proposed optimization methods under industrial conditions was substantiated, confirming their practical significance for fiber cement panel production.

Keywords: fiber cement panel, lamination line, temperature, pressure, speed, optimization.

Кіріспе

Бүгінгі таңда фиброцементті панельдер құрылыс индустриясында жоғары сұранысқа ие болып отыр, себебі олар механикалық беріктігімен, ылғалға төзімділігімен және ұзақ мерзімді пайдалану мүмкіндігімен ерекшеленеді. Фиброцемент панельдерін ламинаттау арқылы әрлеу – олардың сыртқы қабатын қорғап, адгезиялық қасиеттерін жақсартуға бағытталған маңызды технологиялық кезең болып табылады. Bentur және Mindess еңбегінде цементтік композиттердің микромеханикасы жан-жақты зерттеліп, талшық–матрица интерфейсінің беріктікке әсері негізделген [1]. Авторлар талшықтың ұзындығы, көлемдік үлесі және адгезия коэффициенті композиттің механикалық қасиеттерін анықтайтын негізгі параметрлер екенін көрсетеді.

Ламинаттау процесі бірнеше біртұтас операциядан тұратын күрделі көппараметрлі жүйе ретінде қарастырылады: беткі қабатты дайындау, желім жағу, пленка беру, пресстеу және кептіру. Әрбір операция өнім сапасына тікелей әсер етеді, ал температура, пресстеу қысымы, конвейер жылдамдығы және қабат қалыңдығы сияқты негізгі параметрлердің тұрақсыздығы өнімнің ақаулы болуына, өндірістік тиімділіктің төмендеуіне және экономикалық шығындардың артуына әкелуі мүмкін. Заманауи өндірістік желілерде ламинаттау технологиясы әдетте жұқа қорғаныс пленкасын жоғары температура, қысым және жылдамдық үйлесімі арқылы панель бетіне жағу процесін қамтиды. Алайда режимдердің дұрыс таңдалмауы адгезияның төмендеуіне, қабаттың қабыршақтануына және эстетикалық ақаулардың пайда болуына әкелетіні әдебиеттерде көрсетілген [2,3].

Осы бағытта Tonoli және әріптестері фиброцемент бұйымдарының беткі қабатын полимерлі жабындармен қаптау процесін зерттеп, өңдеу режимдерінің материалдың су сіңіру қабілетіне және ұзақ мерзімді беріктігіне айтарлықтай әсер ететінін эксперименттік түрде дәлелдеген [4]. Авторлар зерттеуінде негізінен жабын материалдарының түріне және олардың қорғаныш қасиеттеріне басымдық берілген, алайда нақты өндірістік желі жағдайында температура, қысым және тасымалдау жылдамдығы сияқты технологиялық параметрлердің өзара ықпалы жеткілікті деңгейде қарастырылмаған.

Осыған байланысты, аталған жұмыста фиброцементті панельдерді өнеркәсіптік PURETE автоматтандырылған ламинация желісі жағдайында ламинаттау процесі зерттеліп, негізгі технологиялық параметрлердің өнім сапасына әсері кешенді түрде бағаланды. Зерттеудің ерекшелігі – көпфакторлы Taguchi эксперименттік жобалау әдісін қолдану арқылы параметрлердің өзара байланысын анықтау және өндірістік практикада қолдануға жарамды оңтайлы режимдер комбинациясын ұсыну болып табылады.

Өндірістік тәжірибеде ламинаттау параметрлері көбінесе тәжірибелік жолмен немесе алдын ала белгіленген режимдер бойынша таңдалады, бұл процестің тұрақсыздығына және өнім сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін. Зерттеліп отырған өндірістік желіде бастапқы режим ретінде температура 195 °C, қысым 2 бар және тасымалдау жылдамдығы 10 м/мин қолданылып, бұл жағдайда жабын сапасының жеткіліксіздігі және ақаулардың пайда болуы байқалған. Қазіргі ғылыми зерттеулерде композиттік материалдардың қасиеттері мен жабын технологиялары кеңінен қарастырылғанымен, нақты өндірістік жағдайларда технологиялық параметрлерді жүйелі түрде оңтайландыру мәселесі жеткілікті деңгейде зерттелмеген [4–6]. Сонымен қатар көп жағдайда параметрлердің өзара әсері толық ескерілмейді, бұл процесті тиімді басқаруға кедергі келтіреді.

Осыған байланысты бұл жұмыстың мақсаты – фиброцементті панельдерді ламинаттау процесінің негізгі технологиялық параметрлерінің өнім сапасына әсерін зерттеу және Taguchi әдісі мен математикалық модельдеу негізінде олардың оңтайлы мәндерін анықтау болып табылады.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы өндірістік режимдерге негізделген көпфакторлы талдау жүргізу арқылы ламинаттау процесінің негізгі басқарушы параметрлерін анықтау және олардың оңтайлы комбинациясын негіздеумен сипатталады. Алынған нәтижелер өндірістік процесті тұрақтандыруға және өнім сапасын арттыруға бағытталған практикалық ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Материалдар мен тәсілдер

Бұл жұмыста фиброцементті панельдерді ламинаттау процесінің технологиялық параметрлерінің өнім сапасына әсерін зерттеу және тиімді жұмыс режимдерін анықтау мақсатында көпфакторлы талдау жүргізілді. Зерттеу өндірістік PURETE типті автоматтандырылған ламинация желісінің жұмыс режимдерін талдау негізінде орындалды. Ламинаттау процесі панельдерді беру, бетті алдын ала тазалау, қыздыру, желім жағу, декоративті пленканы беру, престеу және салқындату кезеңдерінен тұратын үздіксіз технологиялық жүйе болып табылады [7].

Зерттеу барысында өнім сапасына тікелей әсер ететін негізгі технологиялық параметрлер ретінде ламинация температурасы T, престеу қысымы P және тасымалдау жылдамдығы ϑ қарастырылды. Бұл параметрлер өндірістік процесте басқарылатын айнымалылар болып табылады және жабын қабатының адгезиясына, біртектілігіне және ақаулардың қалыптасуына шешуші әсер етеді.

Өндірістік бақылаулар негізінде бастапқы технологиялық режим ретінде температура $T_0 = 195°C$, қысым $P_0 = 2$ бар және жылдамдық $\vartheta_0 = 10$ м/мин қабылданды. Аталған режимде жабын сапасының тұрақсыздығы, адгезияның жеткіліксіздігі және ақаулардың пайда болуы байқалған. Параметрдің өзгеру диапозоны 1-кестеде көрсетілген. Көпфакторлы жүйені тиімді зерттеу мақсатында Taguchi эксперименттік жоспарлау әдісі қолданылды. Үш фактор және олардың үш деңгейі үшін L9 ортогонал матрицасы пайдаланылды. Бұл әдіс толық факторлық экспериментпен салыстырғанда тәжірибелер санын айтарлықтай азайта отырып, негізгі факторлардың өнім сапасына әсерін анықтауға мүмкіндік береді.

Кесте 1. Ламинаттау процесінің технологиялық параметрлері және олардың диапазондары

Параметр	Диапазон
Температура	180-220°C
Қысым	1.8–2.6 бар
Жылдамдық	10–14 м/мин

Әрбір тәжірибе комбинациясы үшін сапа көрсеткіші ретінде ақаулар үлесі y, % қабылданды. Ақаулар құрамына жабын қабатының толық жабыспауы, көпіршіктердің пайда болуы және қабаттың біркелкі болмауы сияқты дефектілер енгізілді. Зерттеу толық өндірістік эксперименттер жүргізілмеген жағдайда есептік-имитациялық тәсіл негізінде орындалды. Ақаулар үлесінің мәндері технологиялық параметрлердің әсер ету заңдылықтарын ескере отырып қалыптастырылды, бұл параметрлердің салыстырмалы әсерін бағалауға мүмкіндік береді [8].

Ламинаттау процесінің сапасын сандық тұрғыдан сипаттау үшін интегралды сапа көрсеткіші енгізілді. Бұл көрсеткіш технологиялық параметрлердің номиналды мәндерден ауытқуына тәуелді және келесі өрнек арқылы анықталады:

$$Q(T, P, \vartheta) = \alpha(T - T_0)^2 + \beta(P - P_0)^2 + \gamma(\vartheta - \vartheta_0)^2 \quad (1)$$

мұндағы: Q – сапа көрсеткіші, T, P, ϑ – технологиялық параметрлер, ал α, β, γ – факторлардың салыстырмалы әсерін сипаттайтын салмақ коэффициенттері. Бұл модель технологиялық режимдердің өзгеруі кезінде сапаның төмендеу заңдылығын сипаттайды және параметрлердің әсерін сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді.

Эксперимент нәтижелерін өңдеу үшін Taguchi әдісінде кеңінен қолданылатын сигнал–шу қатынасы пайдаланылды. Зерттеуде ақауларды минимизациялау мақсатына сәйкес «the smaller–the better» критерийі қабылданды. Сигнал–шу қатынасы келесі өрнек бойынша есептелді:

$$S/N = -10 \log_{10}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \quad (2)$$

мұндағы: y_i – тәжірибе нәтижесінде алынған сапа көрсеткіштері; n – бақылаулар саны.

Бұл көрсеткіш технологиялық параметрлердің өзгеруі жағдайында процестің тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді.

Алынған эксперименттік нәтижелерді терең талдау және параметрлердің әсерін нақтылау мақсатында математикалық модель MATLAB бағдарламалық ортасында зерттелді. Модельдеу барысында технологиялық параметрлердің өзгеру диапазоны бойынша сапа көрсеткішінің мәндері есептеліп, олардың арасындағы тәуелділіктер графикалық түрде анықталды. Сонымен қатар параметрлердің жеке және өзара әсері талданып, сапа функциясының минимум аймағы анықталды.

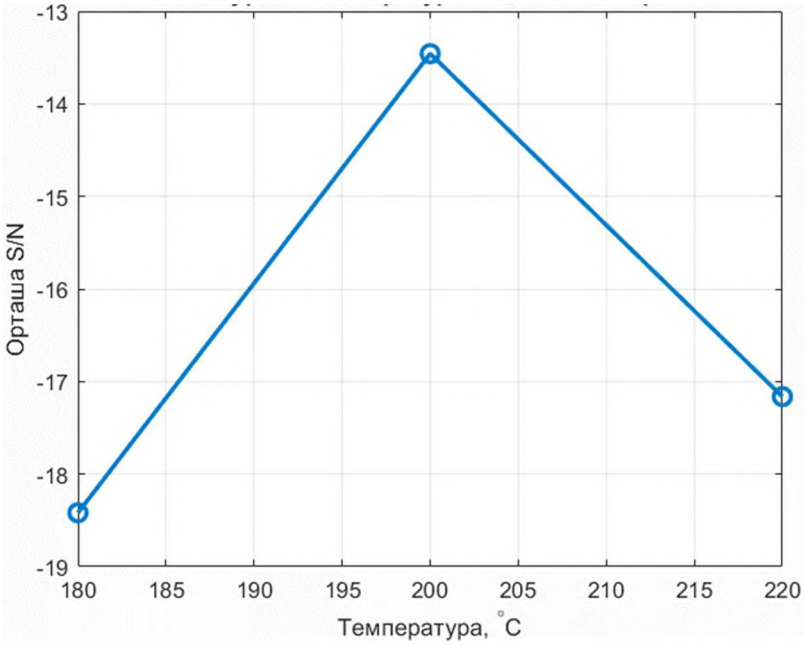
Зерттеу нәтижелерінің сенімділігін қамтамасыз ету үшін модельдеу нәтижелері Taguchi әдісі арқылы алынған деректермен салыстырылып, олардың сәйкестігі талданды. Бұл тәсіл технологиялық параметрлердің оңтайлы комбинациясын негіздеуге және өндірістік процесті тиімді басқару бойынша ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.



Сурет 1. Ламинаттау желісінің жұмыс барысы

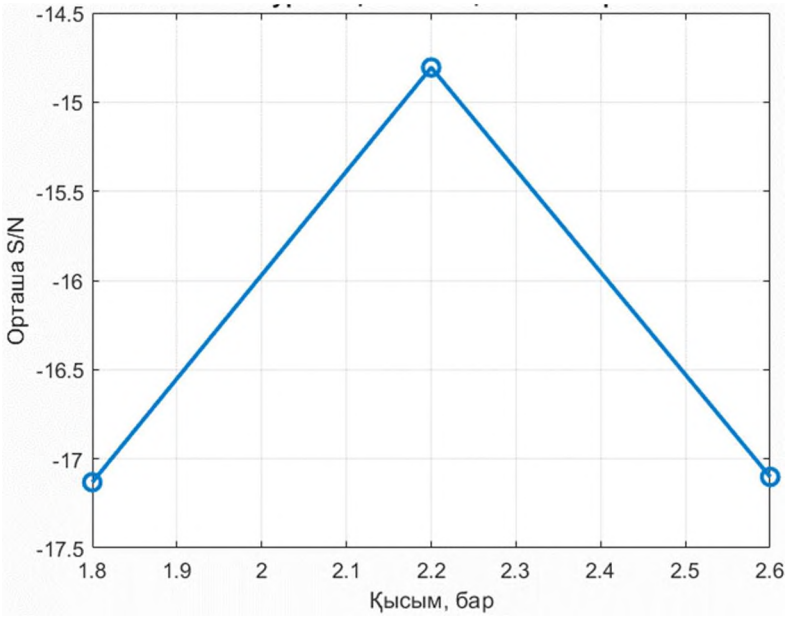
Нәтижелер мен талқылау

Taguchi әдісі бойынша жүргізілген талдау әртүрлі параметр комбинацияларының өнім сапасына әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер бойынша температураның 200 °C мәні сапа тұрғысынан ең тиімді деңгей екені анықталды. 2-суретте температура бойынша S/N көрсеткішінің максимумы дәл осы нүктеде байқалады. Бұл температурада желімнің белсенділігі жеткілікті деңгейде болып, жабын қабатының панель бетімен тұрақты байланысы қамтамасыз етіледі. Температураның төмен мәндерінде адгезия нашар қалыптасады, ал жоғары мәндерінде қабаттың термиялық бұзылуы күшейеді.



Сурет 2. Температураның сапаға әсері

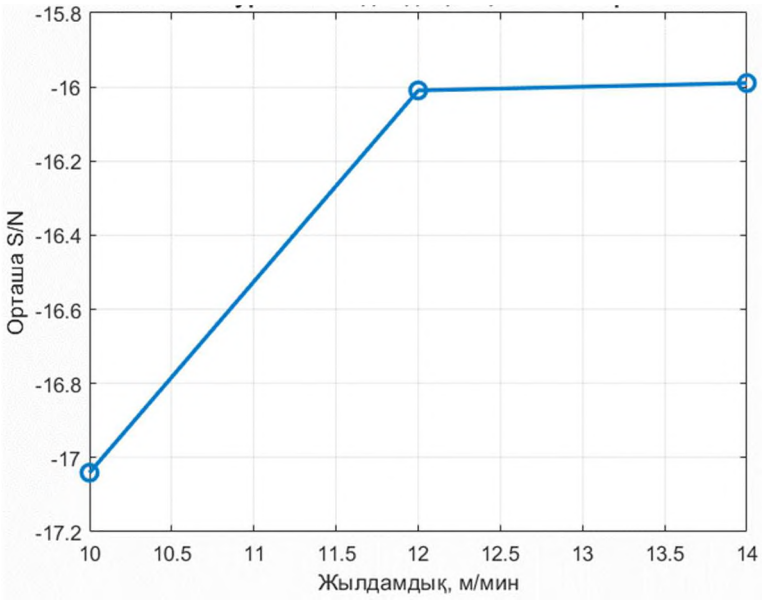
Қысым параметрі бойынша 3-суретте 2.2 бар деңгейі оңтайлы екені көрсетілген. Бастапқы 2 бар режимінде пленканың панель бетімен толық жанаспау жағдайлары байқалады. Қысымды 2.2 бар деңгейіне дейін арттыру жабынның тығыз жанасуын қамтамасыз етіп, қабаттың біркелкілігін жақсартты. Ал 2.6 бар кезінде материалда ішкі кернеулердің пайда болу ықтималдығы байқалды.



Сурет 3. Қысымның сапаға әсері

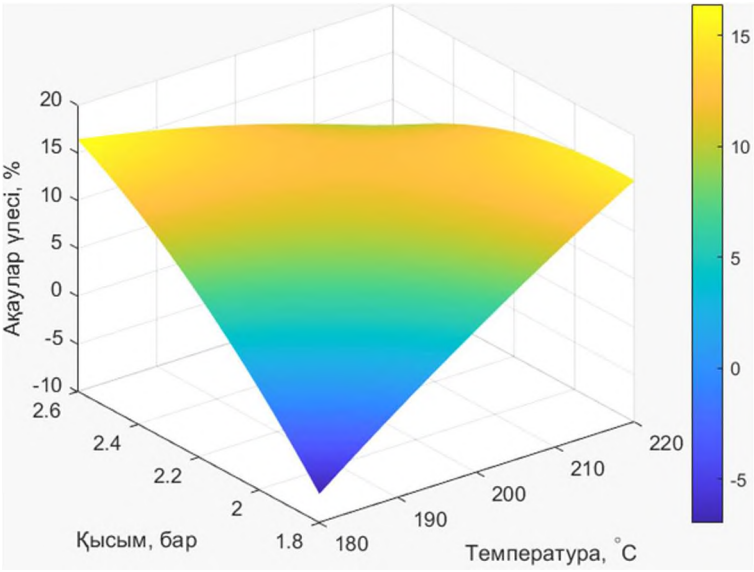
Жылдамдықтың әсерін талдау 4-суретте келтірілген. Бастапқы 10 м/мин режимінде панельдің қыздыру және престеу аймағында болу уақыты ұзарғандықтан, процестің

тұрақтылығы төмендеген. Жылдамдықты 12 м/мин-ге дейін арттыру технологиялық кезеңдердің үйлесімділігін жақсартып, ақаулар деңгейінің төмендеуіне ықпал етті. Осылайша жылдамдық үшін тиімді мән 12 м/мин болып анықталды.

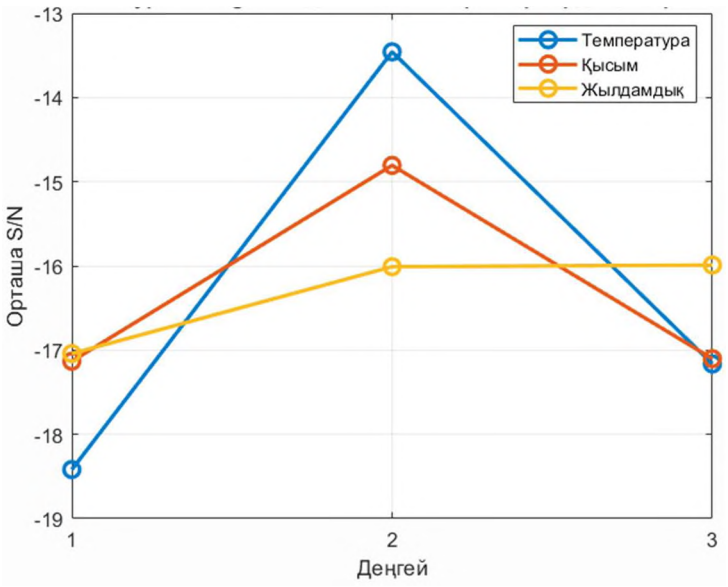


Сурет 4. Жылдамдықтың сапаға әсері

Параметрлердің өзара әсерін көрсететін үшөлшемді бетте (Сурет 5) температура мен қысымның бірлескен ықпалы шешуші рөл атқаратыны байқалады. Сапа көрсеткішінің минимум аймағы 200°C және 2.2 бар маңында орналасқан. Бұл нәтиже Taguchi әдісі арқылы алынған қорытындылармен сәйкес келеді.



Сурет 5. Температура мен қысымның бірлескен әсері



Сурет 6. Taguchi әдісі бойынша факторлардың сапаға әсері

6-суретте Taguchi әдісі бойынша факторлардың сапаға әсері көрсетілген. Температура ең маңызды параметр болып табылады, ал қысым мен жылдамдықтың әсері төменірек. Әдіс бойынша есептелген сигнал–шу қатынастары негізінде факторлардың салыстырмалы әсер ету дәрежесі келесі ретпен анықталды:

$$T > P > \vartheta$$

Бұл температураның ламинаттау процесіндегі негізгі басқарушы фактор екенін көрсетеді.

Ламинаттау процесінің параметрлерін оңтайландыру нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2. Ламинаттау процесінің параметрлерін оңтайландыру нәтижелері

Параметр	Қазіргі режим	Оңтайлы режим	Жетілдіру нәтижесі
Температура	195 °C	200 °C	Қабат күйуі азаяды, адгезия +12%
Қысым	2 бар	2.2 бар	Біркелкілік +14%, қабат орнығуы жақсарады
Жылдамдық	10 м/мин	12 м/мин	Ақаулар -25%, адгезия +18%
Қалыңдық	1 мм	өзгеріссіз	Айтарлықтай әсерсіз

Қорытынды

Осы жұмыста фиброцементті панельдерді ламинаттау технологиялық желісінің жұмыс жұмыста фиброцементті панельдерді ламинаттау процесінің технологиялық параметрлерінің өнім сапасына әсері кешенді түрде зерттелді. Зерттеу нәтижелері температура, қысым және тасымалдау жылдамдығының ламинаттау сапасына әртүрлі деңгейде әсер ететінін көрсетті, ал факторлардың маңыздылық реті T>P>V түрінде анықталды.

Taguchi әдісі мен MATLAB бағдарламасындағы модельдеу нәтижелері негізінде бастапқы өндірістік режим 195°C, 2 бар және 10 м/мин мәндерінен тиімді режим 200°C, 2.2 бар және 12 м/мин мәндеріне көшу ұсынылды. Ұсынылған режимде жабын қабатының адгезиялық қасиеттері жақсарып, қабаттың біркелкілігі артты және ақаулар деңгейі төмендеді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, температураны оңтайлы мәнге жеткізу желімнің белсенділігін арттырып, адгезияның жақсаруына ықпал етеді, ал қысым мен жылдамдық параметрлерін дұрыс таңдау жабынның панель бетімен тұрақты жанасуын және технологиялық процестің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Практикалық тұрғыдан ұсынылған технологиялық режимді енгізу өнім сапасын арттыруға, ақауларды азайтуға және ламинаттау процесінің тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер өндірістік желілерді жетілдіру және технологиялық процестерді автоматтандыру кезінде қолданылуы мүмкін.

Әдебиет:

1. Bentur A., Mindess S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. – 2nd ed. – London: Taylor & Francis, 2007. – 625 p.
2. Khamput P., Klathae T., Choosakul C., Dueramae S. The Development of Fiber–Cement Flat Sheets by Young and Mature Coconut Fibers to Replace Asbestos for Eco-Friendly Products // Applied Sciences (MDPI). – 2024. – 14, 10786.
3. Adekunle F., et al. Assessment of Adhesion in Woven Fabric-Reinforced Laminates // Polymers (MDPI). – 2024. – Article.
4. Tonoli G.H.D., Santos S.F., Savastano Jr.H. Effect of polymer coatings on the durability of fibre cement composites // Materials Research. – 2010. – Vol. 13, No. 3. – P. 329–334. https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000300009
5. James I.E. et al. Design, modelling and optimisation of ultra high-performance fibre reinforced concrete incorporating waste materials // Discover Civil Engineering. – 2024, Vol. 1, Art. 96. – 2024
6. Lee, H., Choi, M.K., & Kim, B.J. (2023). Structural and functional properties of fiber reinforced concrete composites for construction applications. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 125, 38-49.
7. PURETE T3 Automatic Laminating Production Line Technical Details // PURETE — High-Volume Laminating Machine Product Page. – PURETE Machinery. – 2025. https://www.puretemac.com/T3-Automatic-laminating-prodution-line.html
8. Chen H.-J., Chang S.-N., Tang C.-W. Application of the Taguchi Method for Optimizing the Process Parameters of Producing Lightweight Aggregates by Incorporating Tile Grinding Sludge with Reservoir Sediments // Materials. – 2017. – Vol.10, No.11:1294. https://doi.org/10.3390/ma10111294.

References:

1. Impact of carbonation and fiber hornification on the performance of fiber-cements. Low-carbon Materials and Green Construction. 2025.
2. Khamput P., Klathae T., Choosakul C., Dueramae S. The Development of Fiber–Cement Flat Sheets by Young and Mature Coconut Fibers to Replace Asbestos for Eco-Friendly Products // Applied Sciences (MDPI). – 2024. – 14, 10786.
3. Adekunle F., et al. Assessment of Adhesion in Woven Fabric-Reinforced Laminates // Polymers (MDPI). – 2024. – Article.
4. Tonoli G.H.D., Santos S.F., Savastano Jr.H. Effect of polymer coatings on the durability of fibre cement composites // *Materials Research*. – 2010. – Vol. 13, No. 3. – P. 329–334. https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000300009
5. James I.E. et al. Design, modelling and optimisation of ultra high-performance fibre reinforced concrete incorporating waste materials // Discover Civil Engineering. – 2024, Vol. 1, Art. 96. – 2024
6. Lee, H., Choi, M.K., & Kim, B.J. (2023). Structural and functional properties of fiber reinforced concrete composites for construction applications. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 125, 38-49.

7. PURETE T3 Automatic Laminating Production Line Technical Details // PURETE – High-Volume Laminating Machine Product Page. – PURETE Machinery. – 2025. https://www.puretemac.com/T3-Automatic-laminating-prodution-line.html
8. Chen H.-J., Chang S.-N., Tang C.-W. Application of the Taguchi Method for Optimizing the Process Parameters of Producing Lightweight Aggregates by Incorporating Tile Grinding Sludge with Reservoir Sediments // Materials. – 2017. – Vol.10, No.11:1294. https://doi.org/10.3390/ma10111294.

Information about the athors

D.S. Zhamangarin – associate professor, PhD, Department of system analysis and management, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: zhamangarin_ds@enu.kz; ORCID: 0000-0002-2526-6492;
A.G. Sagyndikova – master's student, Department of system analysis and management, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: ssag2506@mail.ru.

АҚПАРАТТЫҚ-КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР / ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-282-295
UDC 629.3:658.51
IRSTI 28.23.29

IMPLEMENTATION OF A PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEM IN AN AUTOMOTIVE ENTERPRISE: ECONOMIC IMPACT AND PRODUCTION RESULTS

D.T. Aldasheva[1], O.S. Salykova[2], K.S. Maulenov[2], G.M. Baenova[3*]
[1]Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov, Kostanay, Kazakhstan
[2]Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan
[3]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: baenova_gm@enu.kz

Abstract

The article presents the results of the pilot implementation of the predictive equipment maintenance system at the SaryarkaAvtoProm LLP automotive industry enterprise. The system is based on an ensemble of machine learning algorithms trained on multichannel sensor data (vibration, temperature, pressure, flow rate of process fluids) and failure logs. The prototype of the online monitoring system was integrated with two priority assembly lines of the machine assembly shop (engine and transmission units).

For two months, the system analyzed sensor data streams in real time and generated warnings when the failure probability threshold of 0.7 was exceeded. During this period, 14 alarm notifications were generated, nine of which corresponded to the actual pre-failure conditions of the equipment, and in five cases pronounced signs of wear were detected, eliminated as part of scheduled repairs. It is shown that the introduction of a predictive maintenance system has reduced total maintenance costs from 1,000,000 to 720,000 conventional units (savings of about 28%) and reduced the duration of unplanned downtime from 340 to 200 hours (a decrease of ≈41%). The economic impact factors are analyzed: advance planning of repairs, reduction of the number of emergency situations, optimization of stocks and reduction of the volume of emergency purchases.

The pilot implemented sensor-data acquisition and preprocessing, ensemble-based risk estimation, an alert interface, and feature-contribution explanations. Digital twins and federated learning were not part of the experimental system and are considered only as directions for future scaling.

Keywords: Predictive maintenance, machine learning, online monitoring, economic efficiency, downtime, automotive industry, sensor monitoring.

АВТОМОБИЛЬ КӘСІПОРНЫНДА БОЛЖАМДЫ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ ЖҮЙЕСІН ЕНГІЗУ: ЭКОНОМИКАЛЫҚ ТИІМДІЛІК ЖӘНЕ ӨНДІРІСТІК НӘТИЖЕЛЕР

Алдашева Д.Т.[1], Салыкова О.С.[2], Мауленов Қ.С.[2], Баенова Г.М.[3*]

[1]М. Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті, Қостанай, Қазақстан

[2]Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай Өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан

[3]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*

[*]Хат-хабар үшін автор: baenova_gm@enu.kz

Аңдатпа

Мақалада SaryarkaAvtoProm LLP автомобиль өнеркәсібі кәсіпорнында жабдыққа болжамды қызмет көрсету жүйесін тәжірибелік-өнеркәсіптік енгізу нәтижелері келтірілген. Жүйе көп арналы сенсорлық деректерде (діріл, температура, қысым, технологиялық сұйықтықтарды тұтыну) және сәтсіздік журналдарында оқытылған Машиналық оқыту алгоритмдерінің ансамбліне негізделген. Онлайн мониторинг жүйесінің прототипі Механикалық құрастыру цехының екі басым құрастыру желісімен (қозғалтқыш және трансмиссия тораптары) біріктірілген.

Екі айдың ішінде нақты уақыттағы жүйе сенсорлық деректер ағындарын талдап, сәтсіздік ықтималдығы шегі 0,7-ден асқан кезде ескертулер жасады. Көрсетілген кезеңде 14 дабыл хабарламасы жасалды, олардың тоғызы жабдықтың нақты алдын ала болжанған жай-күйіне сәйкес келді, ал бес жағдайда жоспарлы жөндеу шеңберінде жойылған тозудың айқын белгілері анықталды. Болжалды қызмет көрсету жүйесін енгізу жалпы қызмет көрсету шығындарын 1 000 000-нан 720 000 шартты бірлікке дейін төмендетуге (шамамен 28% үнемдеу) және жоспарланбаған тоқтап қалу ұзақтығын 340-тан 200 сағатқа дейін қысқартуға мүмкіндік берді (≈41% төмендеу). Экономикалық әсер факторлары талданады: жөндеуді алдын-ала жоспарлау, Төтенше жағдайлар санының төмендеуі, қойма қорларын оңтайландыру және шұғыл сатып алу көлемінің төмендеуі.

Пилот шеңберінде сенсорлық деректерді жинау және алдын ала өңдеу, ансамбльдік тәуекелді бағалау, хабарландыру интерфейсі және белгілер үлесін көрсету іске асырылды. Цифрлық егіздер мен федеративті оқыту эксперименттік жүйеге кірген жоқ және жүйені болашақта масштабтау бағыттары ретінде ғана қарастырылады.

Кілт сөздер: Болжалды қызмет көрсету, машиналық оқыту, онлайн бақылау, экономикалық тиімділік, тоқтап қалу, автомобиль өнеркәсібі, сенсорлық бақылау.

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ: ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Алдашева Д.Т.[1], Салыкова О.С.[2], Мауленов К.С.[2], Баенова Г.М.[3*]

[1]Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова, Костанай, Казахстан

[2]Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан

[3]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

[*]Автор-корреспондент: baenova_gm@enu.kz

Аннотация

В статье представлены результаты опытно-промышленного внедрения системы предиктивного обслуживания оборудования на предприятии автомобильной промышленности SaryarkaAvtoProm LLP. В основу системы положен ансамбль алгоритмов машинного обучения, обученных на многоканальных сенсорных данных (вибрация, температура, давление, расход технологических жидкостей) и журналах

отказов. Прототип системы онлайн-мониторинга был интегрирован с двумя приоритетными сборочными линиями механосборочного цеха (двигательные и трансмиссионные узлы).
В течение двух месяцев система в реальном времени анализировала потоки сенсорных данных и формировала предупреждения при превышении порога вероятности отказа 0,7. За указанный период сгенерировано 14 тревожных уведомлений, девять из которых соответствовали реально предотказным состояниям оборудования, а в пяти случаях были выявлены выраженные признаки износа, устраненные в рамках плановых ремонтов. Показано, что внедрение системы предиктивного обслуживания позволило снизить суммарные затраты на обслуживание с 1 000 000 до 720 000 условных единиц (экономия порядка 28 %) и сократить длительность незапланированных простоев с 340 до 200 часов (уменьшение на ≈41%). Анализируются факторы экономического эффекта: заблаговременное планирование ремонтов, снижение количества аварийных ситуаций, оптимизация складских запасов и уменьшение объема экстренных закупок.
В рамках пилота были реализованы сбор и предобработка сенсорных данных, ансамблевая оценка риска, интерфейс оповещений и представление вклада признаков. Цифровые двойники и федеративное обучение в экспериментальную систему не входили и рассматриваются только как направления дальнейшего масштабирования.

Ключевые слова: предиктивное обслуживание, машинное обучение, онлайн-мониторинг, экономическая эффективность, простои, автомобильная промышленность, сенсорный мониторинг.

Introduction

For an automotive assembly shop, equipment reliability is not an abstract technical indicator: a single stop on a critical line can interrupt the planned output of engine or transmission units. At SaryarkaAvtoProm LLP, this problem was considered together with the cost of emergency repairs, loss of production time and the need to keep maintenance work within scheduled windows. Preventive maintenance alone does not always detect the beginning of degradation, while reactive repair records the problem only after it has already affected the line.

The ICT basis for solving this task is the continuous use of industrial sensor data. Vibration, temperature, pressure and flow-rate measurements can be processed as time series and converted into diagnostic features for decision support. In this sense, Industry 4.0 technologies, IIoT infrastructure and data analytics are used here not as a general digitalization background, but as the information layer that links equipment condition, failure logs and maintenance decisions.

Published studies on predictive maintenance show that data-driven maintenance can reduce the losses associated with unplanned stops and poorly timed repairs [1-3]. The main mechanism is practical: sensor streams are analyzed to detect anomalies, classify pre-failure states and estimate the remaining useful life of components [4-6]. AI-based analysis of IIoT data has been used both for predictive-maintenance decisions and for operational monitoring of connected transport systems [7, 8]. In maintenance applications, warnings issued before complete failure support earlier diagnostics and repair planning [7].

This logic is especially important for automotive production. Assembly operations are tightly connected, and the failure of one drive, bearing unit, hydraulic element or gearbox may stop not only a local machine but also the following operations in the chain. Therefore, the article treats early diagnosis as a production-data task: the system must recognize the beginning of degradation early enough for the repair team to react without creating a new production bottleneck.

The transition to PdM is relevant in automotive production because machine-learning-based maintenance cases must satisfy reliability, safety and production-continuity requirements

at the same time [20]. Studies on prognostics and health management report that condition-based diagnostics can improve equipment availability and reduce maintenance costs [9]. Research on optimization and machine learning in automotive manufacturing also shows that maintenance decisions are increasingly linked with production planning rather than considered separately [10].

For online use, the speed and location of data processing are important. Edge analytics and workshop-level preprocessing reduce the delay between a sensor change and a warning in the interface [11]. Similar fault-detection tasks have been reported for industrial autonomous transporters and automobile engines [12, 13], and neural-network models are also used in related diagnostics of vehicles and infrastructure [14].

Several research directions are relevant to later scaling. Federated learning allows sites to improve models without transferring raw operational data [15]. Explainable AI is also relevant because engineers need to know why a warning was generated and which signals influenced it [16]. Digital twins can support equipment condition assessment, fault prediction, and predictive maintenance planning [17]. In this pilot, the interface displayed feature contributions, risk trajectories, and links between alerts and maintenance-log events; digital twins and federated learning were not implemented.

The economic result of PdM is formed mainly at the moment when an emergency stop is replaced by planned work. For this reason, the assessment in the article includes not only the cost of repair operations, but also production losses during downtime, urgent procurement and overtime work of maintenance teams.

Although the literature on PdM is extensive, many papers remain at the level of models trained on historical datasets. Fewer studies describe what happens after a model is placed into an operating production circuit and begins to generate warnings for real maintenance personnel. This gap is the reason for focusing the article on pilot operation, not only on algorithm training.

The ensemble machine learning models used in this study were developed and trained at an earlier stage of the project using multichannel sensor data. This study focuses on the practical implementation of these models in a real automotive production environment, describing system architecture, online monitoring operations, operational and economic outcomes, organizational integration, and prospects for scaling.

The purpose of this article is to evaluate the effectiveness of implementing a predictive maintenance system at SaryarkaAvtoProm LLP based on an analysis of operational and economic indicators, as well as to identify organizational and technological factors influencing the success of integrating such systems into the production circuit of an automotive enterprise.

The study is positioned within the field of information and communication technologies, specifically at the intersection of Data Science, Applied Artificial Intelligence, Industrial IoT, and Smart Manufacturing. The ICT contribution lies not only in the use of machine learning algorithms, but also in the integration of sensor data acquisition, online preprocessing, decision-support software, and interpretable alert generation in a real production environment.

To achieve the stated purpose, the following research tasks were addressed: (1) to describe the architecture of the predictive maintenance system; (2) to formalize the data flows and machine learning models used for online monitoring; (3) to evaluate warning quality during trial operation; (4) to assess the economic effect of the predictive strategy compared with reactive maintenance; and (5) to identify organizational, technological and methodological limitations for further scaling.

Scientific novelty of the study

For this study, the engineering and applied novelty is defined by four points: (1) an ICT architecture for PdM was deployed in a real automotive assembly environment; (2) Random Forest, gradient boosting and CNN-LSTM outputs were combined for multichannel industrial sensor streams; (3) the models were tested in continuous online monitoring, not only on archived data; and (4) diagnostic results were connected with maintenance costs and downtime, which made it possible to evaluate the system by both technical and economic indicators.

Materials and methods of research

The object of the research is the maintenance process for critical equipment of an automotive mechanical assembly shop. The subject of the research is a data-driven method for predicting pre-failure equipment states based on multichannel sensor data and machine learning models.

The study is experimental and data-driven: it combines industrial sensor monitoring, machine learning validation and a production-economic assessment of the pilot implementation. The computational implementation was prepared in Python using standard data-analysis and machine learning tools: pandas and NumPy for preprocessing, scikit-learn for Random Forest and metric calculation, XGBoost/LightGBM for gradient boosting, and TensorFlow/Keras for the CNN-LSTM model. The online monitoring prototype was integrated with the enterprise sensor infrastructure and notification interface.

Only aggregated operational indicators and anonymized event descriptions were released for publication. Raw sensor streams, detailed maintenance logs, implementation costs, and asset identifiers remain inside the enterprise information system; this limits independent reproduction of the numerical results.

Experimental scope. The pilot covered two priority assembly lines for engine and transmission units in the mechanical assembly shop. The monitored contour included selected bearings, gearboxes, hydraulic cylinders, and drive mechanisms rather than the entire plant. Four sensor modalities were processed: vibration, temperature, pressure, and process-fluid flow. Features were calculated over 30-second and 5-minute windows, the risk estimate was updated every 60 seconds, and online operation lasted two months. Sensor coverage varied by equipment unit; to avoid identifying individual assets, the contour is reported only in aggregate.

The predictive maintenance system comprises four interrelated components:

Data Collection Subsystem. Vibration, temperature, pressure, and process fluid flow sensors were installed on critical equipment components (bearings, gearboxes, hydraulic cylinders, and drive mechanisms). High-frequency vibration signals were captured with minimal delay, while temperature and pressure readings were collected less frequently but provided essential context for condition assessment. All data were timestamped and transmitted to a centralized processing unit.

Preprocessing and Aggregation Module. This module filters outliers, restores isolated gaps, synchronizes timestamps, and computes aggregated features over fixed time windows (30 seconds and 5 minutes). Feature normalization and logarithmic transformation are applied as needed to mitigate scale differences.

Computational Module with Ensemble Models. Equipment failure predictions are generated by an ensemble of three models:

- Random Forest for tabular aggregated features;
- Gradient Boosting (XGBoost/LightGBM) to capture nonlinear interactions;
- hybrid CNN and LSTM Neural Network for analysis of raw vibration time series.

Each model outputs the probability of a component being in a pre-failure state. In the deployed ensemble, the three model probabilities were combined by averaging to form the integrated prediction used by the notification system.

User Interface and Notification System. The interface displays aggregated indicators by production line, forecast history, and current risk levels for each component. If the integrated probability exceeds a threshold of 0.7, the system generates an alert for the maintenance team, specifying the component and the type of potential failure.

Historical monitoring data from the equipment of the SaryarkaAvtoProm LLP mechanical assembly plant was used to train and test machine learning models. The observations included multi-channel time series generated by sensors for vibration, temperature, pressure, and flow of process fluids.

Data collection was carried out continuously during the long period of operation of the equipment. The frequency of registration of vibration signals was up to several kilohertz, while the temperature and pressure parameters were recorded with a lower frequency.

The database included several million time-series observations and maintenance-log records describing failures and repair actions. The logs were used to label normal and pre-failure conditions. The enterprise did not release the numbers of training and test windows, the class distribution, or the count of historical failure episodes, so sample-level replication is not possible.

The forecast update rate was 60 seconds, reflecting the actual frequency of sensor data input and the allowable calculation delay. The alarm threshold was set at 0.7: if the integral probability of failure issued by the ensemble exceeded this threshold, the system classified the equipment condition as critical and generated a notification indicating the specific node and the type of possible malfunction.

The models were trained on labelled historical data containing normal operating modes and intervals preceding documented failures. The validation scheme consisted of a training sample and a held-out test sample; no separate fixed validation subset was used. Hyperparameters were selected by cross-validation within the training sample, after which the ensemble was evaluated on the held-out test sample.

Aggregated statistical features based on time windows of observations were used for Random Forest and gradient boosting models. The neural network model of CNN and LSTM was trained directly on the initial time series of vibration signals, which made it possible to take into account time dependencies and characteristic patterns of equipment degradation.

Hyperparameters were selected by cross-validation within the training sample, and the final ensemble was formed by averaging the three model probabilities.

The alarm threshold of 0.7 was selected during validation as an operational, risk-oriented compromise between missed failures and redundant diagnostics. It was not derived from a separately reported optimization across multiple threshold values. Because a false negative may cause emergency downtime, component destruction, or cascading damage, the selected operating point prioritizes Recall while keeping the alert volume manageable for maintenance personnel. The metrics reported below therefore apply only to the 0.7 operating threshold.

Table 1. The main features used in the models

Feature group	Examples
Vibration parameters	RMS vibration, spectral energy
Temperature parameters	Average temperature, temperature gradient
Pressure parameters	Average pressure, dispersion
Operating parameters	Equipment load mode

To increase the information content of the models, a set of statistical and spectral features was formed from the initial signals, shown in Table 1.

During the experiment, the system operated in continuous online monitoring mode, analyzing incoming sensor data and making predictions about the technical condition of the equipment. Information about the warnings was transmitted to the repair and maintenance service of the enterprise, where decisions were made on additional diagnostics or planning repairs.

The trial operation of the system was carried out for two months under real enterprise conditions. During this period, the system generated 14 alarm notifications on the monitored lines. Subsequent analysis revealed the following:

- 9 notifications were found to be correct: during emergency diagnostics of the equipment, pre-emergency conditions were recorded (abnormal vibration growth, steady overheating of certain components, pressure instability in the hydraulic system, etc.). Timely intervention prevented the development of failures and avoided a complete shutdown of the line.

- 5 notifications did not lead to immediate failures; however, during the planned disassembly of the units, noticeable signs of wear were revealed (developed bearing defects, early signs of gear damage, etc.). The replacement or restoration of components was carried out within the framework of pre-planned stops, which minimized the impact of repair work on the overall production schedule.

The five warnings that did not end in immediate failure were still useful for maintenance planning: inspection during planned stops revealed early wear in the corresponding units. In this setting, a moderate number of additional warnings is acceptable because the cost of missing a real failure is higher than the cost of checking a component during scheduled maintenance.

Table 2. System activation results

Type of operation	Quantity	Share
Confirmed pre-failure states	9	64%
Early signs of wear	5	36%
Total warnings	14	100%

Of the 14 warnings summarized in Table 2, nine corresponded to confirmed pre-failure conditions. This supports the ability of the ensemble to detect early signs of equipment degradation.

According to reviews from engineering and technical staff, early warnings allowed:

- more flexible planning of maintenance work and distribution of workload among repair teams;
- reduction of stress on staff associated with emergency situations;
- reduction of the risk of cascading damage to neighboring equipment components.

In terms of the quality of the algorithms, the main classification quality metrics were calculated to quantify the effectiveness of the system. Based on the results of trial operation, the following indicators were obtained: Precision – 0.64, Recall – 1.0, F1-score – 0.78. A high Recall value indicates the system's ability to detect almost all potentially dangerous equipment conditions, which is critically important for industrial diagnostics tasks.

The relationship between Precision and Recall should be interpreted in the context of industrial risk management. For the pilot metrics, a warning linked to a documented pre-failure state was treated as a positive prediction; a warning that revealed wear but was not followed by an immediate pre-failure event was not counted as a confirmed positive, although it remained operationally useful. Precision of 0.64 indicates that 9 of 14 alerts corresponded to confirmed pre-failure states, while Recall of 1.0 means that no confirmed dangerous event documented during the pilot interval was missed. With only 14 alerts, the Wilson 95% confidence interval for Precision is approximately 0.39-0.84; the metric is therefore a pilot estimate rather than a definitive long-term value.

The ensemble decision logic was also compared with simpler approaches used in maintenance practice. A single threshold rule based only on vibration or temperature is transparent but reacts poorly to combined weak signals and transient operating modes. Individual machine learning models are more flexible, but Random Forest and gradient boosting mainly process aggregated windows, whereas CNN-LSTM captures temporal vibration patterns. Combining their outputs was intended to reduce model-specific errors and to provide a more stable warning logic under heterogeneous sensor data.

The production interface retained integrated ensemble alerts and their explanations, but not synchronized outputs from each component model. A retrospective comparison of model-level Precision, Recall, and F1-score would therefore be unreliable. The next validation stage should log all component-model outputs against a common held-out benchmark; the pilot metrics reported here apply only to the deployed ensemble.

For this type of industrial task, redundant warnings are less damaging than missed failures. Additional diagnostics require time, but a false negative may lead to line stoppage, emergency procurement and cascading damage. The selected strategy therefore gives priority to completeness of pre-failure detection, while the number of warnings remains low enough for maintenance personnel to process them manually.

Assessment of economic efficiency

To quantify the economic impact of transitioning to predictive maintenance, a comparative analysis of two strategies was conducted:

- reactive maintenance – repair after failure, previously used in the company;
- predictive maintenance – planning maintenance activities based on forecasts from an ensemble of models.

The calculation included:

- direct costs of planned and unplanned repairs;
- losses from unplanned downtime;
- additional expenses for urgent purchases and overtime work of maintenance personnel.

Table 3 presents enterprise-aggregated values calculated on the same comparison basis. Monetary values are expressed in conventional units because the underlying accounting records are confidential.

Table 3. Comparison of Maintenance Strategies

Service strategy	Total cost, conv. units	Unplanned downtime, h	Reduced downtime, %	Savings vs. reactive, %
Reactive maintenance	1 000 000	340	–	–
Predictive maintenance (ML ensemble)	720 000	200	≈ 41	≈ 28

Using the values in Table 3, total maintenance costs decreased by 280,000 conventional units (28.0%), while unplanned downtime was reduced by 140 hours (41.2%). These figures apply to the enterprise comparison used for the pilot and are not universal industry coefficients.

The key sources of savings were:

- advance planning of repairs. Thanks to the system's forecasts, maintenance activities were scheduled during periods of minimal line load, reducing the impact of shutdowns on the production program;
- reduction of emergency failures. Early detection of component degradation allowed major emergency repairs to be avoided, the cost of which typically far exceeds that of planned maintenance;
- inventory and procurement optimization. Advance information about upcoming part replacements enabled planning of purchases, avoiding emergency orders at inflated prices and reducing the volume of "frozen" stock;
- reduction of overtime and use of external contractors**.** Transitioning from reactive "fire-fighting" repairs to planned maintenance decreased the need for urgent work, further easing the burden on the enterprise's budget.

A model of total equipment maintenance costs was used to quantify the economic effect of implementing a predictive maintenance system. The total cost of operation can be represented by the following expression:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{repair}} + C_{\text{downtime}} + C_{\text{inventory}} + C_{\text{emergency}} \quad (1)$$

where C_{repair} is the cost of repair work; C_{downtime} is losses related to the shutdown of the production line; $C_{\text{inventory}}$ is the cost of holding spare-parts inventory; $C_{\text{emergency}}$ includes urgent procurement, overtime work, and external contractors.

First-year ROI was used to relate the annual net operating benefit to the initial implementation investment:

$$\text{ROI}_{1\text{y}} = ((E_{\text{ann}} - C_{\text{impl}}) / C_{\text{impl}}) \times 100\% \quad (2)$$

Here, E_{ann} is the annual net operating benefit (gross savings minus recurring operating costs) before recovery of the initial investment, and C_{impl} is the one-time implementation cost. Equation (2) therefore gives first-year ROI. The payback period is:

$$T_{\text{payback}} = C_{\text{impl}} / E_{\text{ann}} \quad (3)$$

A payback period below one year requires $C_{\text{impl}} < E_{\text{ann}}$. Internal financial statements meet this condition, but the implementation and component-level cost data are confidential. The exact ROI and payback are therefore management-accounting estimates rather than

independently reproducible results. The released data support the observed cost difference of 280,000 conventional units and downtime difference of 140 hours.

The size of the economic effect depends on the cost of line downtime and on how intensively the equipment is used. In highly loaded automotive production, even a relatively small decrease in unplanned stops can give a noticeable financial result.

Organizational Aspects and Impact on Safety.

The practical implementation of the predictive maintenance system required several organizational changes:

- revision of interaction rules between operational and maintenance personnel;
- inclusion of system alarms in maintenance planning procedures;
- development of standard operating procedures (SOPs) for responding to high-risk failure notifications.

Engineers needed to see why an alert had been issued, a requirement also emphasized in work on explainable AI for predictive maintenance [16]. The implemented interface displayed:

- the contribution of key features (temperature, vibration along individual axes, pressure) to the ensemble's final forecast;
- the dynamics of the predicted probability of failure over time;
- the association of specific warnings with corresponding events in the maintenance logs.

Training sessions for engineering and technical personnel covered Precision, Recall, F1-score, and the response procedure for system alerts. The sessions linked model output with the maintenance decisions expected from staff.

From the perspective of industrial safety, the predictive system allowed:

- reduction of the likelihood of serious accidents involving component destruction and risks to personnel health;
- reduction of the likelihood of cascading damage, where failure of one unit leads to damage to several neighboring units;
- safer execution of maintenance activities by transferring them to scheduled windows and eliminating the urgency typical of emergency repairs.

The literature identifies accident prevention and reduction of critical incidents as important effects of PdM implementation [9, 19, 20]. The pilot results at SaryarkaAvtoProm LLP are consistent with this interpretation: early warnings did not eliminate the need for human diagnostics, but they gave repair teams more time to inspect risky components before emergency conditions developed.

Table 4. Comparison of PdM implementation results

Study	Cost reduction	Reduced downtime
Bucay-Valdiviezo et al., 2023	20–25%	≈30%
Meddaoui et al., 2024	≈30%	≈35%
This study	≈28%	≈41%

The data in Table 4 place the pilot results within the range reported in comparable PdM studies [2, 5]. The obtained cost reduction of about 28% and downtime reduction of about 41% do not by themselves prove universal applicability, but they support the practical relevance of machine-learning-based maintenance under the conditions of the monitored lines.

The study also has clear boundaries. The pilot covered only a limited number of production lines, and the two-month observation period is too short to describe seasonal load

changes or long-term ageing of equipment. In addition, not every unit was covered by the same set of sensors, which means that some failure modes could remain less visible to the model.

These limitations directly affect the transferability of the results: models trained on a narrow set of lines may reflect specific equipment modes, sensor placement and maintenance practices. Therefore, before deployment in other workshops or enterprises, the models should be recalibrated on local data and revalidated under new operating regimes. The obtained results should be interpreted as evidence of technical and economic feasibility rather than as a universal benchmark for all automotive enterprises.

Reproducibility is limited by undisclosed sample counts, asset-level sensor coverage, per-model alert logs, and implementation cost. These gaps do not change the recorded pilot outcomes, but they restrict statistical comparison and independent verification of payback.

Discussion and results

The pilot results are close to the ranges reported in the PdM literature, but their interpretation should remain cautious. In the present case, the economic effect was achieved because warnings were linked with actual maintenance planning: repairs could be moved to less loaded periods, and emergency interventions became less frequent. This connection between prediction and maintenance scheduling is more important than the isolated accuracy of the model.

The diagnostic quality of the proposed approach depends on the completeness of sensor coverage, the quality of failure-log annotation and the stability of operating regimes. Missing sensors, irregular maintenance records or changes in production load can shift the data distribution and reduce model generalizability. For this reason, periodic recalibration, monitoring of model drift and validation after major equipment changes should be treated as necessary elements of the PdM lifecycle.

The architecture used in the pilot also shows why local preprocessing is useful. If all raw signals are transferred without aggregation, the monitoring loop becomes slower and more difficult to maintain. Computing features at the workshop level and sending compact risk estimates to the interface is a more practical option for near-real-time maintenance decisions, especially for mobile or autonomous industrial equipment [11].

The remaining discussion concerns possible extensions, not components of the pilot. Digital twins, federated, transfer and reinforcement learning, added acoustic or visual inputs, and MES/ERP integration require separate validation.

The next development step is to connect the monitoring system with a digital twin of the production line. Such a model would make it possible to:

- conduct simulation experiments to assess the impact of various maintenance strategies;
- predict the consequences of failures without risking real equipment;
- optimize repair schedules based on production programs and resource availability.

Federated learning is another option for scaling, especially when several enterprises or sites operate similar equipment but cannot exchange raw data. In that case, each site can train on its own operational history, while the shared model receives only aggregated learning updates. For automotive enterprises, this is important because sensor logs, workloads and maintenance records may contain commercially sensitive information.

From a diagnostic perspective, additional data types can be integrated:

- acoustic signals, which have been successfully used to detect engine defects;
- data on road conditions and external operating environments, applied in similar tasks for predicting roadway degradation;
- video images and computer vision analysis for assessing wear of exposed components.

Further improvement of the system may also require transfer learning and reinforcement learning. Transfer learning can reduce the amount of new data needed when the model is moved to another line, while reinforcement learning may be used to select maintenance actions under resource constraints [4, 18, 19]. These methods should be tested carefully, because a scheduling model that is efficient in simulation may behave differently under real production interruptions.

At the enterprise level, PdM should eventually be connected with MES and ERP systems rather than remain a separate diagnostic dashboard. Such integration would allow warnings to influence spare-parts planning, repair-team workload and the production schedule. This is the point at which predictive maintenance begins to move toward prescriptive maintenance: the system not only reports risk, but also supports the choice of a repair window and resource allocation [4].

In the long term, this transition can change the role of the maintenance service from emergency response to planned lifecycle management of production equipment.

The SaryarkaAvtoProm LLP case should therefore be considered as a pilot implementation of industrial AI under real operating constraints. Its value lies not in replacing engineering expertise, but in showing how sensor data, model outputs and maintenance decisions can be joined in one operational workflow.

Conclusions

The study showed that machine learning methods can be used for predictive maintenance in an operating automotive production environment. The conclusions below correspond to the tasks stated in the introduction.

1) The proposed ICT architecture brings together sensor monitoring, preprocessing, ensemble models and an alert interface. In practice, this turns raw equipment signals into a decision-support tool for the maintenance service.

2) The ensemble based on Random Forest, gradient boosting and CNN-LSTM models detected early degradation patterns in multichannel data. During the two-month pilot, 14 warnings were generated; 9 were linked with confirmed pre-failure states, and 5 led to the detection of significant wear during scheduled maintenance.

3) The 0.7 alarm threshold was an operational, recall-oriented setting rather than the result of a separately reported threshold-optimization study. At this setting, the pilot metrics were Precision = 0.64, Recall = 1.0, and F1-score = 0.78, but the small number of observed events requires longer validation.

4) Compared with reactive maintenance on the reported enterprise comparison basis, the predictive strategy reduced total maintenance costs by 280,000 conventional units (28.0%) and unplanned downtime by 140 hours (41.2%). Because implementation cost data are confidential, the internal estimate of payback within one year is not presented as an independently reproducible result.

5) The implementation changed maintenance organization as well as diagnostics. Alerts were added to planning procedures, engineers received explanations of the model output, and earlier inspections reduced the probability of cascading equipment damage.

6) The article's applied contribution is the demonstration that PdM can be evaluated by a combined set of indicators: classification metrics, production downtime, maintenance costs and organizational effects. This gives a broader view than model accuracy alone.

7) Further work should extend the observation period, include more production lines, retain synchronized outputs from each component model, and add acoustic, visual, and environmental data. Digital twins, federated learning, transfer learning, and reinforcement

learning were not implemented in the present pilot and must be evaluated separately before they can be treated as system components.

The pilot supports machine-learning-based PdM as one component of industrial digital transformation. Its practical effect depends on sensor-data quality, maintenance-log discipline, and the enterprise's ability to incorporate model warnings into routine repair planning.

References:

1. Er-Ratby, M., et al. (2025). The impact of predictive maintenance on the performance of industrial enterprises. SN Computer Science, 6(1). https://doi.org/10.1007/s42979-024-03599-2
2. Bucay-Valdiviezo, J., et al. (2023). Leveraging classical statistical methods for sustainable maintenance in automotive assembly equipment. Sustainability, 15(21), 15604. https://doi.org/10.3390/su152115604
3. Patrício, L., Varela, L., & Silveira, Z. (2025). Proposal for a sustainable model for integrating robotic process automation and machine learning in failure prediction and operational efficiency in predictive maintenance. Applied Sciences, 15(2), 854. https://doi.org/10.3390/app15020854
4. Giacotto, A., Marques, H.C., & Martinetti, A. (2025). Prescriptive maintenance: A comprehensive review of current research and future directions. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 31(1), 129-173. https://doi.org/10.1108/JQME-07-2023-0064
5. Meddaoui, A., Hachmoud, A., & Hain, M. (2024). Advanced ML for predictive maintenance: A case study on remaining useful life prediction and reliability enhancement. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 132(1-2), 323-335. https://doi.org/10.1007/s00170-024-13351-y
6. Crespo del Castillo, A., & Parlikad, A.K. (2024). Dynamic fleet management: Integrating predictive and preventive maintenance with operation workload balance to minimise cost. Reliability Engineering & System Safety, 249, 110243. https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110243
7. Kliestik, T., et al. (2023). Artificial intelligence-based predictive maintenance, time-sensitive networking, and big data-driven algorithmic decision-making in the economics of Industrial Internet of Things. Oeconomia Copernicana, 14(4), 1097-1138. https://doi.org/10.24136/oc.2023.033
8. Singh, S. (2024). Enhancing road-based supply-chain efficiency in the US: Integrating AI/ML-based C3I systems with IoT-enabled trucks. International Journal of Supply Chain Management, 13(4), 1-10. https://doi.org/10.59160/ijscm.v13i4.6253
9. Polverino, L., Abbate, R., Manco, P., Perfetto, D., Caputo, F., Macchiaroli, R., & Caterino, M. (2023). Machine learning for prognostics and health management of industrial mechanical systems and equipment: A systematic literature review. International Journal of Engineering Business Management, 15. https://doi.org/10.1177/18479790231186848
10. Nainggolan, N., Nima, E.M., Nainggolan, N., & Alwadi, B.M. (2024). Advancements in optimization for automotive manufacturing: Hybrid approaches and machine learning. International Journal of Industrial Engineering and Management, 15(3), 254-263. https://doi.org/10.24867/IJIEM-2024-3-361
11. Bajic, B., Suzic, N., Simeunovic, N., Morača, S., & Rikalović, A. (2020). Real-time data analytics edge computing application for Industry 4.0: The Mahalanobis-Taguchi approach. International Journal of Industrial Engineering and Management, 11(3), 146-156. https://doi.org/10.24867/IJIEM-2020-3-260
12. Gültekin, Ö., Cinar, E., Ozkan, K., & Yazici, A. (2022). Real-time fault detection and condition monitoring for industrial autonomous transfer vehicles utilizing edge artificial intelligence. Sensors, 22(9), 3208. https://doi.org/10.3390/s22093208
13. Erdoğan, F.A., Kucukmanisa, A., & Kilimci, Z.H. (2023). Detection of fault from acoustic signals in automobile engines using deep learning techniques. Kocaeli Journal of Science and Engineering, 6(2), 148-154. https://doi.org/10.34088/kojose.1225591
14. Uaisova, M., Zharlykassov, B., Aldasheva, D., Artykbayeva, A., & Radchenko, P. (2024). The use of ANN and machine learning algorithms to predict road surface deterioration. GEOMATE Journal, 27(121), 136-143. https://doi.org/10.21660/2024.121.m2422
15. Chellapandi, V.P., Yuan, L., Brinton, C.G., Zak, S.H., & Wang, Z. (2024). Federated learning for connected and automated vehicles: A survey of existing approaches and challenges. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 9(1), 119-137. https://doi.org/10.1109/TIV.2023.3332675

16. Matzka, S. (2020). Explainable artificial intelligence for predictive maintenance applications. In Third International Conference on Artificial Intelligence for Industries (AI4I) (pp. 69-74). IEEE. https://doi.org/10.1109/AI4I49448.2020.00023
17. Chen, C., Fu, H., Zheng, Y., Tao, F., Liu, Y. (2023). The advance of digital twin for predictive maintenance: The role and function of machine learning. Journal of Manufacturing Systems, 71, 581-594. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.10.010
18. Skowron, M. (2024). Transfer learning-based fault detection system of permanent magnet synchronous motors. IEEE Access, 12, 135372-135389. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3463970
19. Radionov, A.A., Liubimov, I.V., Yachikov, I.M., Abdulveleev, I.R., Khramshina, E.A., & Karandaev, A.S. (2023). Method for forecasting the remaining useful life of a furnace transformer based on online monitoring data. Energies, 16(12), 4630. https://doi.org/10.3390/en16124630
20. Theissler, A., Pérez-Velázquez, J., Kettelgerdes, M., & Elger, G. (2021). Predictive maintenance enabled by machine learning: Use cases and challenges in the automotive industry. Reliability Engineering & System Safety, 215, 107864. https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107864

Information about the athors

D.T. Aldasheva – Master of Pedagogical Sciences, senior teacher of the Department of Information Technology and Automation, Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov, Kostanay, Kazakhstan; e-mail: aldasheva.dinara@mail.ru; ORCID: 0009-0000-4990-4308;
O.S. Salykova – Candidate of Technical Sciences, Head of the Software Department, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University Akhmet Baitursynuly, Kostanay, Kazakhstan; e-mail: solga0603@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8681-4552;
K.S. Maulenov – PhD, Head of the Department of Digital Technologies and Artificial Intelligence, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan; e-mail: k.maulenov070693@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4147-3843;
G.M. Baenova – corresponding author, PhD, senior teacher of the Department of computer and software engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: baenova_gm@enu.kz; ORCID: 0009-0009-6191-458X.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-296-308
UDC 004.7
IRSTI 50.39.15

A SIMULATION-DRIVEN FRAMEWORK FOR NETWORK-AWARE PERFORMANCE EVALUATION OF IOT SYSTEMS

A.S. Bayraktar[1], C. Ceken[2*]
[1]Sakarya University, Department of Software Engineering, Sakarya, Türkiye
[2]Sakarya University, Department of Computer Engineering, Sakarya, Türkiye*
[*]Corresponding author: celalceken@sakarya.edu.tr

Abstract

Selecting and deploying an appropriate wireless sensor network (WSN) is an important challenge in IoT system design. Evaluating different WSN configurations through physical deployment can be costly and time-consuming. This study proposes a simulation-driven framework that integrates a simulated WSN with an MQTT-based IoT communication infrastructure to enable network-aware performance evaluation prior to physical deployment. An SDN-WISE-based WSN was implemented using the Cooja simulator, and the generated sensor traffic was forwarded to a Mosquitto-based MQTT cluster via a socket-based integration mechanism. Unlike conventional approaches that use independent traffic generators, the MQTT workload in the proposed framework originates directly from the simulated WSN. Experiments with 24-, 36-, and 48-node scenarios showed that average end-to-end delay increased from 37.51 ms to 138.01 ms, while total application throughput increased from 142.51 bps to 281.12 bps. Packet delivery remained effectively near 100% across all scenarios. The proposed approach provides a controlled, repeatable environment for evaluating various WSN configurations and can reduce the need for multiple physical deployments in the early stages of IoT system design.

Keywords: Internet of Things, wireless sensor networks, Cooja, MQTT, network simulation, IoT system design.

IoT ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖЕЛІГЕ БЕЙІМДЕЛГЕН ӨНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН МОДЕЛЬДЕУГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚҰРЫЛЫМ

Bayraktar A.S.[1], Ceken C.[2*]
[1]Сакария университеті, Бағдарламалық қамтамасыз ету инженериясы кафедрасы, Сакария, Түркия
[2]Сакария университеті, Компьютерлік инженерия кафедрасы, Сакария, Түркия*
[*]Хат-хабар үшін автор: celalceken@sakarya.edu.tr

Аңдатпа

IoT жүйесін жобалауда тиісті сымсыз сенсорлық желіні (WSN) таңдау және оны орналастыру маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Әртүрлі WSN конфигурацияларын физикалық түрде орналастыру арқылы бағалау көп уақыт пен шығынды қажет етуі мүмкін. Осы зерттеуде физикалық орналастыруға дейін желіге бейімделген өнімділікті бағалауға мүмкіндік беретін, модельдеу негізіндегі құрылым ұсынылады. Ұсынылған құрылым модельденген WSN-ді MQTT негізіндегі IoT коммуникациялық инфрақұрылымымен біріктіреді. SDN-WISE негізіндегі WSN Cooja симуляторы арқылы іске асырылып, қалыптастырылған сенсорлық трафик сокет арқылы біріктіру механизмі көмегімен Mosquitto негізіндегі MQTT кластеріне жіберілді. Тәуелсіз трафик генераторларын пайдаланатын дәстүрлі тәсілдерден айырмашылығы, ұсынылған құрылымдағы MQTT жүктемесі тікелей модельденген WSN арқылы қалыптастырылады. 24, 36 және 48 түйіннен тұратын сценарийлерде жүргізілген эксперименттер нәтижесінде орташа соңғы нүктелер арасындағы кідіріс 37,51 мс-тен 138,01 мс-ке дейін артқаны, ал қолданбалық деңгейдегі жалпы өткізу қабілеті 142,51 бит/с-тен 281,12 бит/с-ке дейін өскені анықталды. Барлық сценарийлерде пакеттерді жеткізу деңгейі 100%-ға жуық сақталды. Ұсынылған тәсіл әртүрлі WSN конфигурацияларын бағалау үшін басқарылатын және қайталанатын ортаны қамтамасыз етеді және IoT

жүйесін жобалаудың бастапқы кезеңдерінде бірнеше физикалық орналастыру қажеттілігін азайтуға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: Заттар интернеті, сымсыз сенсорлық желілер, Cooja, MQTT, желіні модельдеу, IoT жүйелерін жобалау.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ IoT-СИСТЕМ С УЧЕТОМ СЕТЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Bayraktar A.S.[1], Ceken C.[2*]

[1]Университет Сакарья, кафедра программной инженерии, Сакарья, Турция
[2]Университет Сакарья, кафедра компьютерной инженерии, Сакарья, Турция*
[*]Автор для корреспонденции: celalceken@sakarya.edu.tr

Аннотация

Выбор и развертывание подходящей беспроводной сенсорной сети (WSN) является важной задачей при проектировании IoT-систем. Оценка различных конфигураций WSN посредством физического развертывания может требовать значительных затрат времени и ресурсов. В данной работе предлагается структура, основанная на моделировании, которая интегрирует моделируемую WSN с коммуникационной инфраструктурой IoT на базе MQTT для оценки производительности системы с учетом характеристик сети до физического развертывания. WSN на основе SDN-WISE была реализована с использованием симулятора Cooja, а генерируемый сенсорный трафик передавался в MQTT-кластер на базе Mosquitto посредством механизма интеграции через сокетное соединение. В отличие от традиционных подходов, использующих независимые генераторы трафика, MQTT-нагрузка в предлагаемой структуре формируется непосредственно моделируемой WSN. Эксперименты со сценариями, содержащими 24, 36 и 48 узлов, показали, что средняя сквозная задержка увеличилась с 37,51 мс до 138,01 мс, тогда как общая пропускная способность на уровне приложений увеличилась с 142,51 бит/с до 281,12 бит/с. Во всех сценариях коэффициент доставки пакетов сохранялся практически на уровне 100%. Предлагаемый подход обеспечивает контролируемую и воспроизводимую среду для оценки различных конфигураций WSN и позволяет сократить необходимость многократного физического развертывания на ранних этапах проектирования IoT-систем.

Ключевые слова: Интернет вещей, беспроводные сенсорные сети, Cooja, MQTT, моделирование сетей, проектирование IoT-систем.

Introduction

The Internet of Things (IoT) enables distributed devices and sensors to collect and exchange data for diverse application domains such as environmental monitoring, smart agriculture, industrial automation, smart cities, healthcare, and intelligent infrastructure. IoT systems include communication networks to transfer sensor data from distributed devices to cloud infrastructure. Various wireless technologies and network architectures can be employed in the vertical domain of IoT systems, including ZigBee, Bluetooth Low Energy (BLE), Wi-Fi, SDN-based WSNs, and NB-IoT. These technologies differ in terms of communication range, data rate, latency, reliability, energy consumption, and network capacity. Therefore, selecting an appropriate WSN technology and configuration is an important design decision for a target IoT system. However, designing, deploying, and testing physical WSNs can be expensive, time-consuming, and difficult, especially when different technologies, protocols, topologies, and configurations need to be compared.

Simulation provides an effective alternative for evaluating WSN designs before physical deployment. A WSN simulator allows researchers to design various network configurations and

investigate their behavior under controlled, repeatable conditions. Network parameters can be changed without replacing physical devices or modifying a deployed testbed. This makes simulation useful for exploring alternative network designs and identifying potentially suitable configurations before investing in physical infrastructure.

Several studies have investigated simulation-based approaches for evaluating WSN and IoT performance. Simulation is particularly useful for IoT networks because physical testbeds can introduce limitations related to scalability, hardware compatibility, deployment space, and cost [1, 2]. Various simulation environments have therefore been developed and used to evaluate IoT and WSN communication under different network configurations and conditions [2, 3, 4]. Among these environments, Contiki-NG provides an open-source operating system for resource-constrained IoT devices and supports the rapid prototyping and evaluation of IoT systems, while Cooja enables the simulation of networks composed of such devices [3]. Previous studies using Contiki-NG and Cooja have evaluated different network topologies and communication scenarios using performance measures such as throughput, packet delivery ratio, end-to-end delay, energy consumption, and communication overhead [5, 6].

Software-defined networking has also been investigated as an approach for improving the flexibility and programmability of WSNs. SDN-WISE provides a software-defined architecture for WSNs and enables programmable control of network behavior and communication functions [7, 8]. The SD-WISE architecture further extends this approach by introducing software abstractions for sensor-node resources and supporting flexible network management and control [9]. More recent work has evaluated SDN-WISE under different network conditions, including static and mobile WSN scenarios, demonstrating the influence of network configuration and node mobility on performance [10]. These studies show that software-defined WSNs provide a flexible basis for investigating alternative network configurations and communication behaviors.

At the IoT communication layer, MQTT is widely used because of its lightweight publish/subscribe communication model and suitability for resource-constrained devices [11, 12]. Comparative studies have evaluated MQTT together with other messaging protocols, including CoAP, AMQP, and HTTP, while other studies have examined its performance under different network conditions, security configurations, workloads, and resource constraints [12, 13]. Recent studies have also compared MQTT with alternative communication approaches and investigated the effects of network size, transmission conditions, and traffic characteristics on communication performance [14, 15]. These results indicate that both the underlying WSN configuration and the IoT communication layer can influence the performance observed by an IoT application.

Although existing research has extensively investigated WSN simulation, software-defined WSNs, and MQTT-based IoT communication, these components are commonly evaluated independently. In particular, application traffic is often generated separately from the simulated WSN rather than being produced by the WSN itself. This study addresses this limitation by integrating the WSN simulation with an MQTT-based IoT pipeline. The main idea is that the IoT workload is generated directly by the simulated WSN rather than by a conventional traffic generator. Sensor nodes operating in the simulation produce sensor data and network traffic, which are transferred to the MQTT-based IoT system for further processing. Thus, the simulated WSN serves as an active and controllable workload source for the IoT platform, providing a basis for evaluating how changes in WSN configuration affect the traffic delivered to the IoT infrastructure.

To test the proposed framework and evaluate system performance, we implemented an SDN-WISE-based WSN using the Cooja simulator. The simulated WSN generates sensor traffic, which is integrated with the MQTT-based IoT pipeline for further processing and performance evaluation. The proposed approach provides a controlled and cost-effective environment for examining how WSN behavior and network conditions affect the overall performance of an IoT system.

The main contribution of this study is the development of a simulation-driven framework that integrates a simulated WSN with an MQTT-based IoT data pipeline, where sensor traffic processed by the IoT system is generated directly by the simulated WSN rather than by an independent artificial traffic generator. This integration provides a controlled and repeatable environment for evaluating different WSN configurations and, where suitable simulation models are available, comparing alternative communication technologies before physical deployment. The proposed approach can therefore support network-aware IoT system design and help identify suitable WSN configurations, while reducing the cost and effort of developing and testing multiple physical WSN deployments.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents the proposed system architecture and describes the integration between the WSN simulation environment and the MQTT-based IoT pipeline. Section 3 introduces the experimental assumptions and setup and presents the performance evaluation and discussion of the results. Finally, the paper concludes with the last section, which provides final remarks and potential directions for future work.

The Proposed System Architecture

The proposed architecture presents a simulation-driven approach for integrating a wireless sensor network (WSN) with an IoT communication infrastructure. As illustrated in Figure 1, the architecture follows the general structure of a traditional IoT system, comprising a vertical domain and a horizontal domain. The vertical domain represents the sensing and communication infrastructure, whereas the horizontal domain represents the higher-level IoT services that process and use sensor data.

In the present study, the experimental implementation focuses on integrating an SDN-WISE-based WSN simulated in Cooja with an MQTT cluster. The cloud-side data pipeline and services, such as data storage, real-time monitoring, and data analytics, are included in the overall architectural view to demonstrate how the proposed framework can be integrated into a complete IoT system. However, these components are not implemented as part of the current experimental study.

System Overview

Figure 1 illustrates the big-picture architecture of the proposed system. In a traditional IoT architecture, the vertical domain represents the path by which data is collected from the physical environment and transferred via the communication infrastructure to higher-level services. This domain typically includes sensing devices, wireless communication networks, and gateway or border components.

In the proposed architecture, the WSN in the vertical domain is implemented as an SDN-WISE-based network executed in the Cooja simulator. The simulated sensor nodes generate sensor traffic according to the defined network topology and communication behavior. This simulated traffic is then transferred from the WSN environment to an external MQTT cluster.

The integration of the simulated WSN with MQTT is the primary component implemented in the proposed framework. Rather than generating MQTT traffic independently using a conventional traffic generator, the MQTT messages originate from the simulated WSN.

Therefore, the simulated network acts as the source of the traffic delivered to the IoT communication infrastructure. This allows the characteristics of the simulated WSN, including its topology, node behavior, communication patterns, and network conditions, to influence the generated workload.

The horizontal domain represents the broader cloud-side IoT architecture. As shown in Figure 1, this domain may include a data pipeline and services for data storage, real-time monitoring, stream processing, data analytics, visualization, and other application-specific operations. These components illustrate the potential integration of the proposed framework into a complete IoT system. They are not implemented or evaluated in the present study.

The architectural separation between the vertical and horizontal domains is useful because the proposed WSN–MQTT integration can serve as an interface between network simulation and higher-level IoT services. Once the simulated WSN traffic is available via the MQTT infrastructure, various downstream components can subscribe to and process the same data stream. This enables the framework to be extended in future work to evaluate end-to-end IoT services, including storage, real-time processing, and data analytics.

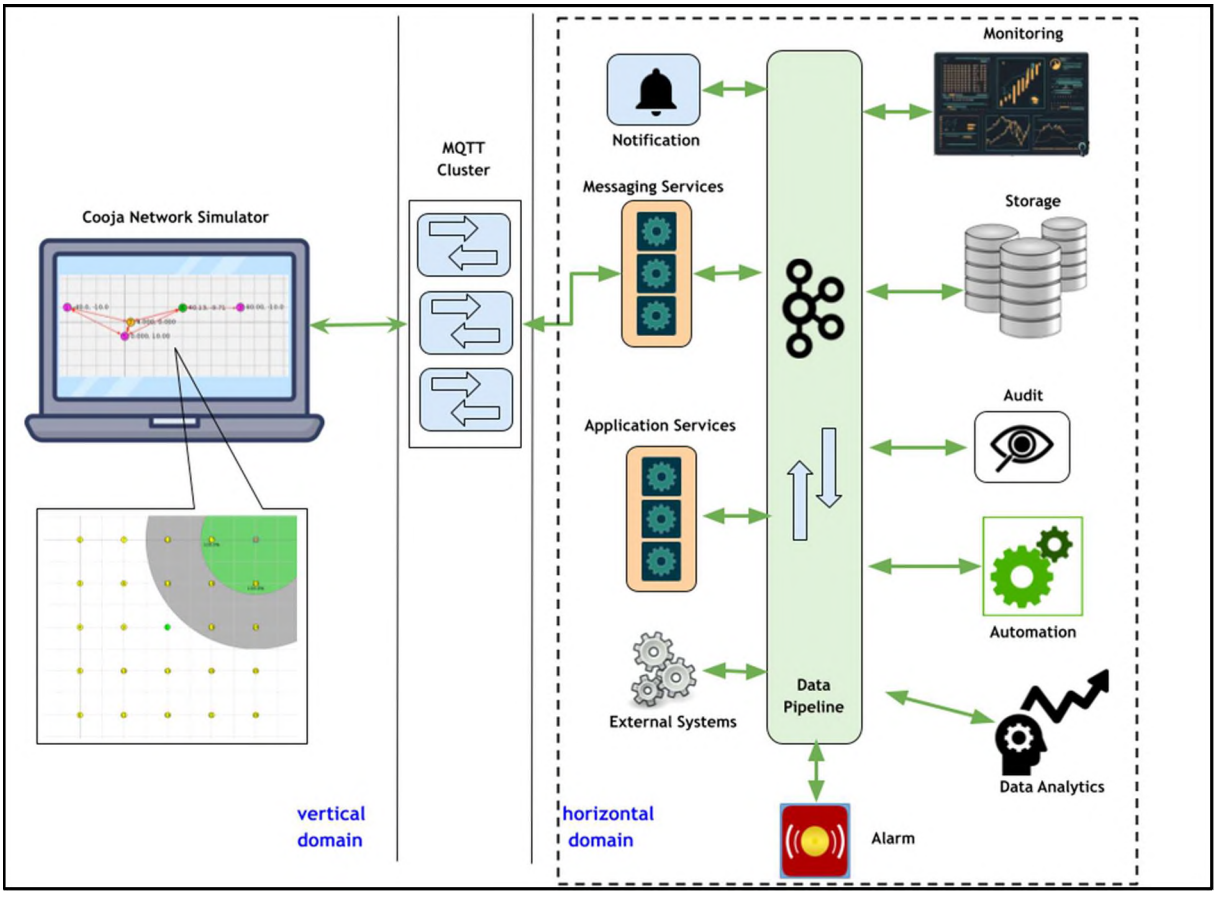


Figure 1. Overall architecture of the proposed simulation-driven IoT framework, with the WSN simulation and MQTT cluster representing the implemented components

Wireless Sensor Network Simulation Model

The experimental WSN topology used in this study is illustrated in Figure 2. The network is implemented as a grid-based topology in the Cooja simulator and consists of SDN-WISE

nodes, including one controller. The simulated nodes are developed using the Contiki-NG [3] operating system and the SDN-WISE framework [8]. Contiki-NG is an open-source operating system designed for low-power and memory-constrained networked devices used in wireless IoT applications. It provides a lightweight environment for developing embedded network applications and is widely used in WSN and IoT research. SDN-WISE provides the software-defined architecture for the experimental WSN and offers a programmable and modular structure for managing network behavior. This allows the communication and forwarding behavior of the network to be configured and modified for different experimental scenarios.

The Cooja simulator is used to execute the Contiki-NG-based SDN-WISE nodes. Cooja provides a simulation and emulation environment for wireless sensor networks and supports the execution of Contiki-NG applications in a simulated network. This enables investigation of the behavior of the experimental WSN without requiring physical deployment of sensor nodes.

Together with its core SDN control functions, the controller node also acts as a bridge between the simulated WSN and the external MQTT cluster. A C-based socket connection is used to transfer data from the WSN to a Python-based integration script. The script receives the data through the socket and converts it into MQTT messages using an MQTT client. These messages are then published to the Mosquitto-based MQTT cluster, making the WSN-generated data available to external and cloud-based services. This WSN–MQTT integration constitutes the experimental implementation evaluated in this study and provides a controlled and repeatable basis for examining how different simulated network conditions affect the traffic delivered to the IoT infrastructure.

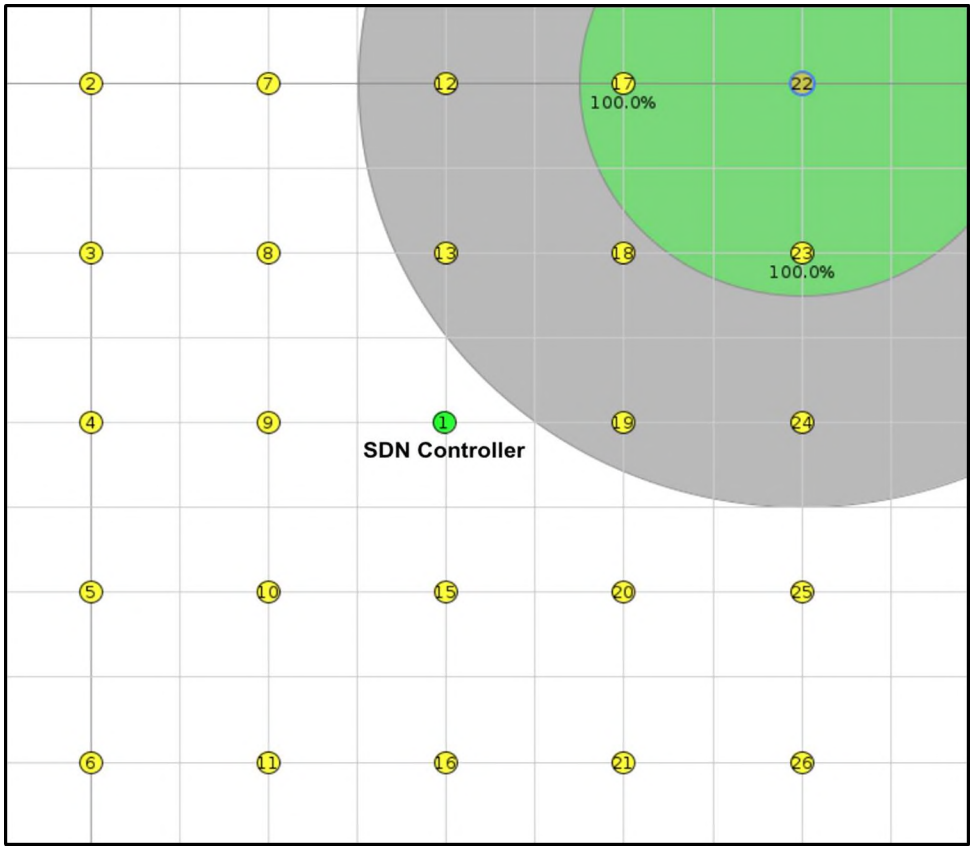


Figure 2. Grid-Based WSN Topology implemented in the Cooja simulator

Experimental Results and Discussions

This section presents the experimental assumptions and setup used to evaluate the proposed simulation-driven framework, followed by the obtained results and their discussion.

Experimental Assumptions and Setup

The simulations were conducted using the Cooja simulator. The main experimental parameters are summarized in Table 1. All of these parameters were kept constant in all simulation scenarios. The interarrival time was set to 8 s, meaning that each sensing node generated a sensor message at eight-seconds intervals. The message size was fixed at 6 bytes to ensure that the payload size remained consistent across all experiments. The TX/RX success ratio was set to 100% to establish an idealized and controlled channel condition, thereby isolating the effect of network size and WSN configuration without introducing packet losses caused by unreliable wireless links.

These fixed parameters enabled the evaluation of the effect of the number of sensing nodes on the generated network and MQTT traffic under comparable conditions.

Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value/Model
Radio Medium	Unit Disk Graph Medium
Radio	CC2650
MAC driver	ContikiMAC
TX/RX success ratio	100%
Transmission range	50 m
Interference range	100 m
Distance between adjacent nodes	20 m
Interarrival Time	8 s
Message size	6 Bytes

The simulations were performed using three different network sizes: 24, 36, and 48 sensing nodes. These scenarios were used to examine the behavior of the proposed WSN–MQTT integration as the number of traffic-generating nodes increased. The remaining experimental conditions were kept unchanged across the scenarios.

Figure 3 shows the experimental environment for the 24-node scenario. The right side of the figure shows the Cooja simulation environment, which contains 24 sensing nodes and one SDN controller node, labeled Node 1 in green. The sensing nodes generate SDN-WISE data packets, while the controller performs SDN control functions and serves as the communication bridge between the simulated WSN and the external MQTT infrastructure.

The controller node establishes a client socket connection with a server socket created by the Python-based gateway script, mitm.py, shown in the lower-left part of Figure 3. Through this socket connection, UART data generated by the controller node is transferred from the Cooja simulation environment to the gateway script. The related Python script receives SDN-WISE packets, extracts the sender information and the message payload, and converts the data into MQTT messages. The messages are then published to the test/topic topic in the Mosquitto-based MQTT cluster.

The upper-left part of Figure 3 shows a mosquitto_sub client subscribed to the test/topic MQTT topic. This subscription was used to verify that messages generated by the simulated sensing nodes were successfully transferred through the controller and gateway script and

published to the MQTT infrastructure. Therefore, the experimental setup provides an end-to-end path from the simulated WSN to the external MQTT cluster:

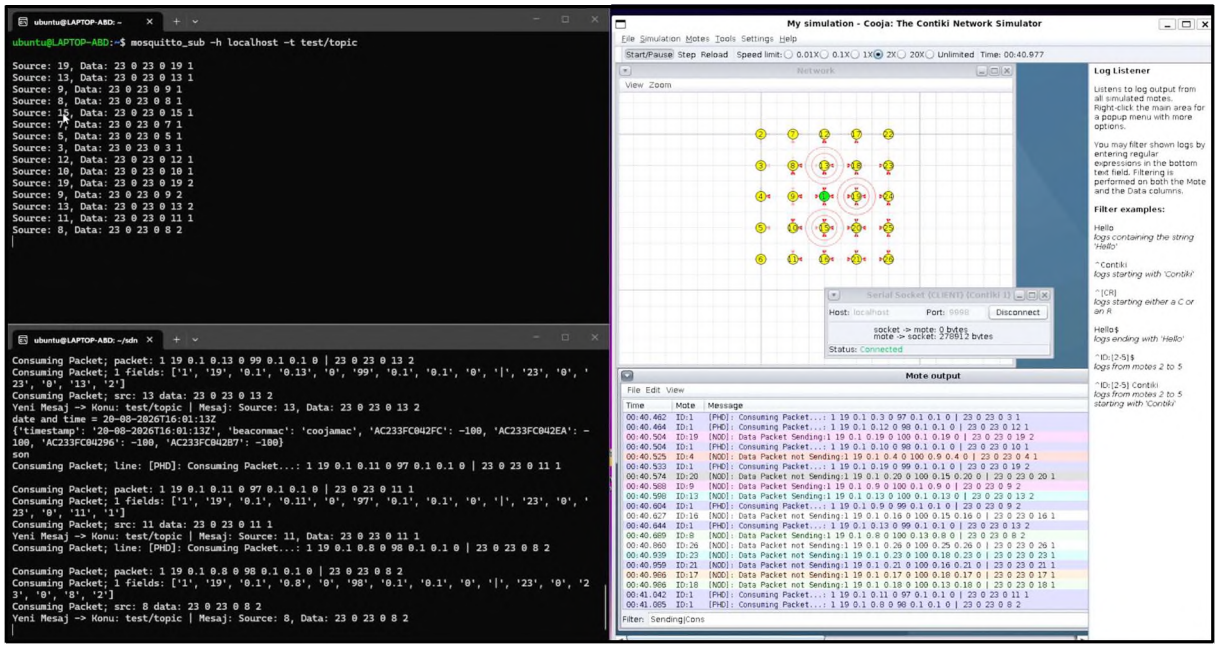


Figure 3. Experimental setup of the Cooja-based WSN and MQTT integration for the 24-sensing-node scenario

Performance Evaluation and Discussions

In this subsection, the simulation results for the defined network scenarios are presented and analyzed. The performance of the proposed WSN–MQTT integration is evaluated under different network sizes, followed by a comparison and discussion of the obtained results.

Figure 4 presents the average end-to-end delay measured for each sensing node in the 24-node network scenario. The results show that the delay varies among nodes, ranging approximately from 26.79 ms to 77.99 ms. Most nodes have an average delay of 27–40 ms, while a small number experience higher delays. These differences are primarily due to variations in communication paths and network conditions within the simulated WSN. The results demonstrate that the proposed framework can capture node-level differences in end-to-end communication performance, rather than only providing an overall network average.

Figure 5 presents the average end-to-end delay for the three network scenarios. The results show that the average delay increased with the number of sensing nodes. The average delay was 37.51 ms, 100.30 ms, and 138.01 ms for the 24-, 36-, and 48-node scenarios, respectively. This increase is associated with the higher volume of network traffic and communication load generated as more sensing nodes are added to the simulated WSN. The results demonstrate that changes in the WSN configuration are reflected in the end-to-end performance of the proposed WSN–MQTT integration.

Figure 6 illustrates the Total Application Throughput (bps) obtained under the three network configurations. An upward trend in throughput can be observed as the number of sensing nodes increases. The measured throughput values are 142.51 bps, 212.78 bps, and 281.12 bps for the 24-, 36-, and 48-node scenarios, respectively. This behavior indicates that the proposed WSN–MQTT integration is able to process and deliver a greater amount of

application-level data as the network scale expands. The observed throughput variation therefore reflects the effect of network size on the data delivery capacity of the overall system.

The Packet Delivery Ratio (PDR) results for the three network scenarios indicate a highly reliable data delivery performance of the proposed WSN–MQTT integration. The PDR was 100.00000% for the 24-node scenario, while it remained at 99.99996% and 99.99988% for the 36- and 48-node scenarios, respectively. Although a slight decrease in PDR can be observed as the number of sensing nodes increases, the change is negligible and the delivery ratio remains effectively close to 100% in all scenarios. This result indicates that the increase in network size has a minimal impact on packet delivery reliability within the simulated conditions. Overall, the results demonstrate that the proposed framework maintains highly reliable communication even as the number of sensing nodes increases.

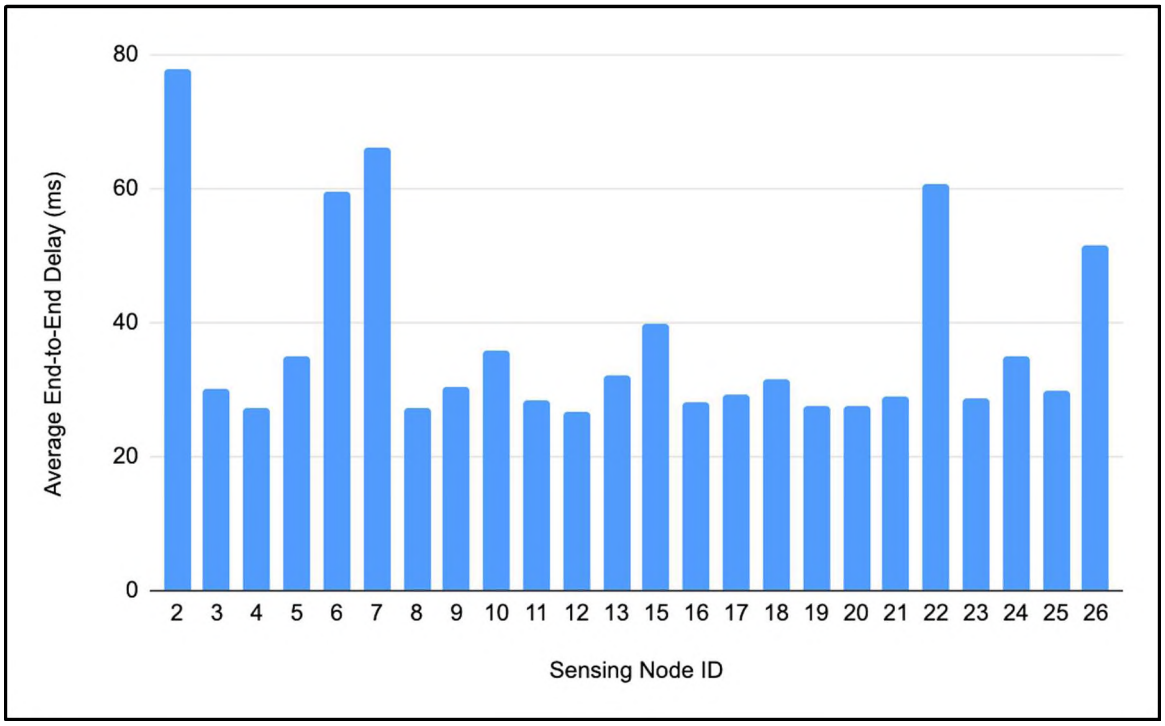


Figure 4. Average End-to-End Delay per Sensing Node in the 24-Node network scenario

To further evaluate the communication overhead of the proposed WSN–MQTT integration, the total network traffic was compared between the baseline condition without application-level data transmission and the corresponding condition with application communication enabled. As shown in Table 2, the total traffic increased from 2,369,624 to 3,046,445 bytes in the 24-node scenario, corresponding to a 28.56% increase. For the 36- and 48-node scenarios, the traffic increase was 33.63% and 38.43%, respectively. The increasing trend indicates that the additional communication load introduced by application-level data transmission becomes more pronounced as the network size increases. These results provide an additional perspective on the communication cost and scalability of the proposed WSN–MQTT integration, complementing the latency, throughput, and PDR analyses.

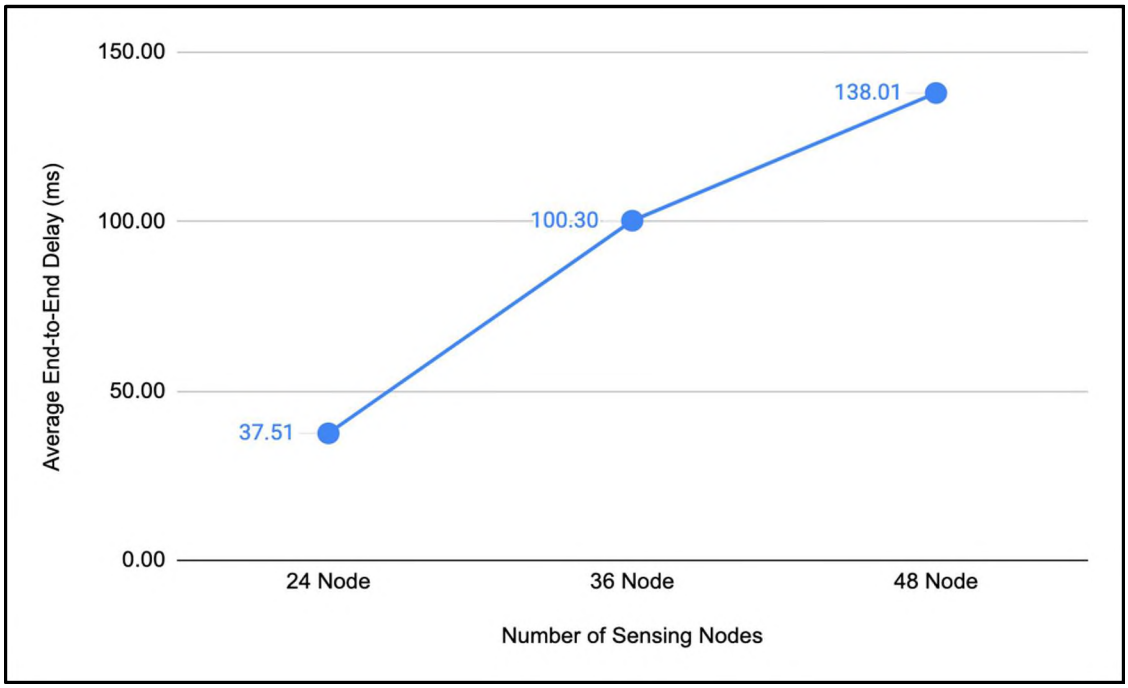


Figure 5. Average End-to-End Delay under different network scenarios

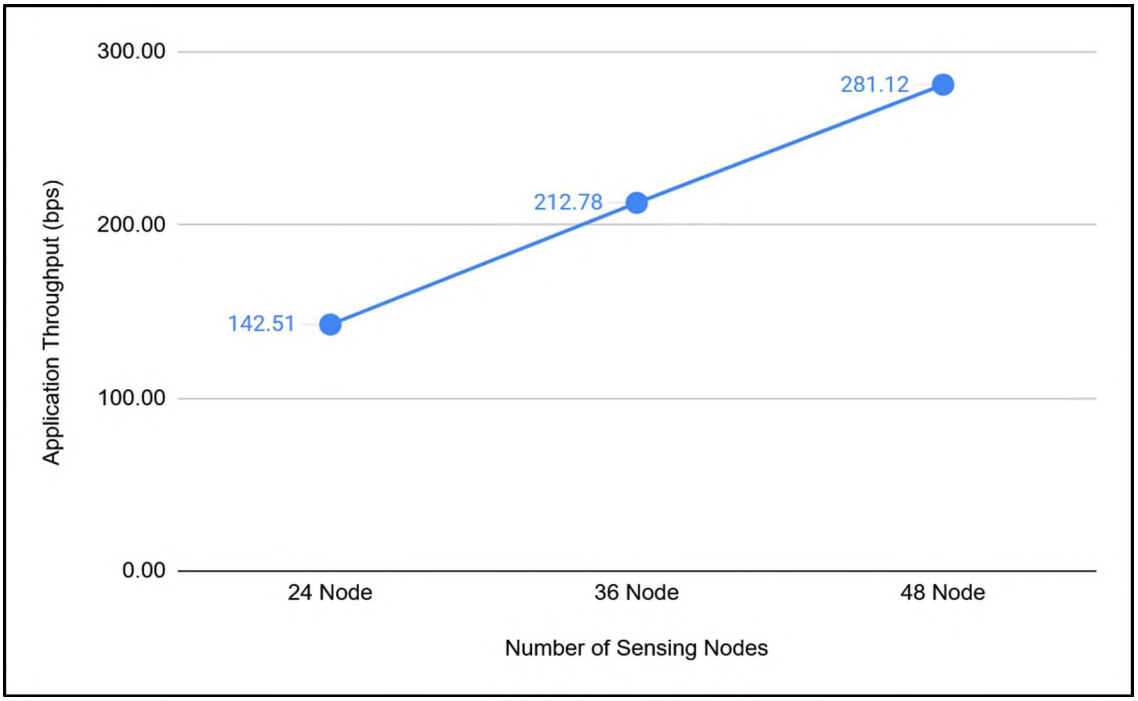


Figure 6. Total Application Throughput (bps) under different network scenarios

Table 2. Comparison of baseline and application-enabled communication traffic across network scenarios

Network Scenario	Baseline Traffic (Byte)	Traffic with Application (Byte)	Additional Traffic (Byte)	Traffic Increase (%)
24 Node	2,369,624	3,046,445	676,821	28.56%
36 Node	5,547,224	7,412,941	1,865,717	33.63%
48 Node	8,050,967	11,144,798	3,093,831	38.43%

As tabulated in Table 3, the computational time required to execute the simulation increased as the network size increased. Although all scenarios represent the same 3600 s of simulated time, the execution time increased from 527.875 s for the 24-node scenario to 697.668 s and 963.927 s for the 36- and 48-node scenarios, respectively. This increase indicates that larger network configurations require greater computational effort due to the increased number of network entities and communication events.

Table 3. Simulation execution time for different network scenarios

Network Scenario	Simulated Time (s)	Simulation Runtime (s)
24 Node	3600	527.875
36 Node	3600	697.668
48 Node	3600	963.927

The results also demonstrate the flexibility of the proposed framework in evaluating different WSN configurations. By modifying the simulated WSN while keeping the MQTT and external IoT infrastructure unchanged, alternative network sizes and configurations can be tested without requiring a new physical WSN deployment. This simplifies comparative evaluation and supports efficient pre-deployment network design.

Conclusions

The framework presented in this study integrates an SDN-WISE-based WSN implemented in the Cooja simulator with an MQTT-based communication infrastructure. Unlike conventional approaches that generate test traffic independently, the MQTT workload in the proposed framework originates directly from the simulated WSN. The experimental results from the 24-, 36-, and 48-node scenarios showed that the average end-to-end delay increased with the number of sensing nodes, yielding delays of 37.51 ms, 100.30 ms, and 138.01 ms, respectively. At the same time, total application throughput increased from 142.51 bps to 212.78 bps and 281.12 bps as the network size increased, reflecting the greater volume of application data generated by larger WSN configurations. Packet delivery remained highly reliable, with PDR values of 100.00000%, 99.99996%, and 99.99988%, respectively. The additional network traffic associated with application communication also increased from 28.56% for the 24-node scenario to 33.63% and 38.43% for the 36- and 48-node scenarios.

These results demonstrate that the framework can capture the effects of WSN configuration on latency, data delivery, and communication load in the integrated IoT infrastructure.

Overall, the results demonstrate the feasibility of using a simulated WSN as a traffic source for evaluating IoT performance. The proposed framework provides a practical link between WSN simulation and IoT infrastructure, supporting network-aware design and pre-deployment evaluation of IoT systems. Future work will focus on evaluating additional network configurations and communication technologies, and on extending the experimental setup to integrate higher-level IoT services such as data processing, storage, and analytics.

Acknowledgment

Artificial Intelligence Statement: Artificial intelligence tools were used to assist with the preparation and language editing of this manuscript. The authors determined the scientific content, methodology, experimental design, analysis, and interpretation of the study. AI-generated suggestions were critically evaluated, filtered, and revised by the authors before inclusion. The authors take full responsibility for the final content, accuracy, originality, and integrity of the manuscript.

References:

1. Gallegos Ramonet, A., Pecorella, T., Picano, B., Kinoshita, K. “Perspectives on IoT-oriented Network Simulation Systems”, Computer Networks. 2024, Vol. 253. Art. No. 110749. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2024.110749.
2. Idris, S., Karunathilake, T., Förster, A. “Survey and Comparative Study of LoRa-Enabled Simulators for Internet of Things and Wireless Sensor Networks”, Sensors. 2022, Vol. 22, No. 15. Art. No. 5546. DOI: https://doi.org/10.3390/s22155546.
3. Oikonomou, G., Duquennoy, S., Elsts, A., Eriksson, J., Tanaka, Y., Tsiftes, N. “The Contiki-NG Open Source Operating System for Next Generation IoT Devices”, SoftwareX. 2022, Vol. 18. Art. No. 101089. DOI: https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101089.
4. Oğur, N.B., Al-Hubaishi, M., Çeken, C. “IoT Data Analytics Architecture for Smart Healthcare Using RFID and WSN”, ETRI Journal. 2022, Vol. 44, No. 1, P. 135–146. DOI: 10.4218/etrij.2020-0036.
5. Prajapati, A., Banerjee, B. “Simulating Distributed Wireless Sensor Networks for Edge-AI”, 2022 5th Conference on Cloud and Internet of Things (CIoT). 2022. P. 75–82. DOI: https://doi.org/10.1109/CIoT53061.2022.9766520.
6. Bekele, B.E., Tokarz, K., Gebeyehu, N.Y., Pochopień, B., Mrozek, D. “Performance Evaluation of UDP-Based Data Transmission with Acknowledgment for Various Network Topologies in IoT Environments”, Electronics. 2024, Vol. 13, No. 18. Art. No. 3697. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics13183697.
7. Tanganelli, G., Vallati, C., Mingozzi, E. “SDN-WISE: A Software-Defined Network for the Internet of Things”, IEEE Internet of Things Journal. 2016, Vol. 3, No. 5, P. 771–784. DOI: https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2515573.
8. Galluccio, L., Milardo, S., Morabito, G., Palazzo, S. “SDN-WISE: Design, Prototyping and Experimentation of a Stateful SDN Solution for Wireless Sensor Networks”, Proceedings of IEEE INFOCOM. 2015, Vol. 26. P. 513–521. DOI: https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2015.7218418.
9. Anadiotis, A.-C.G., Galluccio, L., Milardo, S., Morabito, G., Palazzo, S. “SD-WISE: A Software-Defined WIreless SEnsor Network”, Computer Networks. 2019, Vol. 159. P. 84–95. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.04.029.
10. Tcherak, A., Khaoua, M.O., Loucif, S. “Performance Evaluation of SDN-WISE in Mobile Wireless Sensors Networks”, 2023 International Conference on Advances in Electronics, Control and Communication Systems (ICAECCS). 2023, P. 1-6. DOI: https://doi.org/10.1109/ICAECCS56710.2023.10104806.
11. Banks, A., Gupta, R. “MQTT Version 3.1.1”, OASIS Standard. 2014.
12. Naik, N. “Choice of Effective Messaging Protocols for IoT Systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP”, 2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE). 2017. P. 1–7. DOI: https://doi.org/10.1109/SysEng.2017.8088251.

13. Seoane, V., García-Rubio, C., Almenares, F., Campo, C. "Performance Evaluation of CoAP and MQTT with Security Support for IoT Environments", Computer Networks. 2021, Vol. 197. Art. No. 108338. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108338.
14. Putra, F.P.E., Ubaidi, Holipah, Mahmud, M.A., Paradina, R. "Comparing the Performance of LoRaWAN and MQTT Protocols for IoT Sensor Networks", Jurnal Informasi dan Teknologi. 2024, Vol. 6, No. 2, P. 221-228. DOI: https://doi.org/10.60083/jidt.v6i2.565.
15. Timalsina, A., Khatiwoda, N.R., Dawadi, B.R., Bohara, A., Joshi, S.R., Calafate, C.T., Manzoni, P. "Assessing the Adequacy of MQTT and ZeroMQ for 5G-Enabled V2X Networks", Electronics. 2025, Vol. 14, No. 22. Art. No. 4509. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics14224509.

Information about the authors

A.S. Bayraktar – PhD Candidate, Department of Software Engineering, Sakarya, Türkiye; e-mail: asbayraktar@sakarya.edu.tr; ORCID: 0000-0002-7985-8696;
C. Çeken – corresponding author, PhD, Sakarya University, Department of Computer Engineering, Sakarya, Türkiye; e-mail: celalceken@sakarya.edu.tr; ORCID: 0000-0002-6912-0057.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-309-318
UDC 004.85
IRSTI 28.23.25

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENSEMBLE MACHINE LEARNING MODELS FOR CREDIT SCORING AND FRAUD DETECTION IN FINANCIAL DECISION SUPPORT SYSTEMS

D. Mityanin[1], D. Akhmadiyev[1], T. Berdamurat[1], G. Kim[1*], V. Semenyuk[1], Joe Robert Paul G. Lucena[2]

[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[2]Asia Pacific College, Makati City, Philippines
[*]Corresponding author: gakim@ku.edu.kz

Abstract

This paper investigates the performance of ensemble machine learning algorithms – Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost – for solving the dual-classification problem of credit scoring and fraud detection within financial decision support systems. The study utilizes an event-driven architecture for real-time data processing, evaluated on retail lending application data through cross-validation and hyperparameter optimization. Experimental results demonstrate that Random Forest and XGBoost achieve high predictive accuracy for credit scoring, while boosting models effectively handle fraud detection. Furthermore, cost-sensitive threshold calibration optimizes risk management, and feature importance analysis reveals that behavioral and data consistency indicators outweigh traditional credit scores. The findings offer a robust methodological and architectural contribution to real-time financial decision support systems, enhancing automated risk assessment and fraud mitigation in digital lending.

Keywords: credit scoring, fraud detection, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, ensemble methods, decision support system, Apache Kafka, machine learning.

ҚАРЖЫЛЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ НЕСИЕЛІК СКОРИНГ ЖӘНЕ АЛАЯҚТЫҚТЫ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН АНСАМБЛЬДІК МАШИНАЛЫҚ ОҚУ МОДЕЛЬДЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Митянин Д.М.[1], Ахмадиев Д.Р.[1], Бердамурат Т.С.[1], Ким Г.А.[1*], Семенюк В.В.[1], Lucena Joe Robert Paul G.[2]

[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[2]Азия-Тынық мұхиты колледжі, Макати, Филиппин
[*]Хат-хабар үшін автор: gakim@ku.edu.kz

Аңдатпа

Бұл мақалада қаржылық шешімдерді қолдау жүйелеріндегі несиелік скоринг пен алаяқтықты анықтаудың екілік жіктеу мәселесін шешу үшін ансамбльдік машиналық оқу алгоритмдерінің (Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost) тиімділігі зерттеледі. Зерттеу барысында деректерді нақты уақыт режимінде өңдеуге арналған оқиғаға бағытталған архитектура, кросс-валидация және гиперпараметрлерді баптау әдістері қолданылды. Эксперименттік нәтижелер Random Forest пен XGBoost модельдерінің несиелік скорингте жоғары дәлдік көрсететінін, ал бустинг алгоритмдерінің алаяқтықты анықтауда тиімді екенін дәлелдеді. Сонымен қатар, құнға сезімтал табалдырықты калибрлеу тәуекелдерді басқаруды жақсартады, ал маңыздылықты талдау мінез-құлық көрсеткіштерінің дәстүрлі скорингтен басым екенін көрсетті. Алынған нәтижелер цифрлық несиелеудегі автоматты түрде тәуекелдерді бағалау мен антифродты жетілдіруге бағытталған ғылыми-әдістемелік және архитектуралық үлес болып табылады.

Кілт сөздер: несиелік скоринг, алаяқтықты анықтау, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, ансамбльдік әдістер, шешімдерді қолдау жүйесі, Apache Kafka, машиналық оқу.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНСАМБЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА И ОБНАРУЖЕНИЯ МОШЕННИЧЕСТВА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ФИНАНСОВЫХ РЕШЕНИЙ

Митянин Д.М.[1], Ахмадиев Д.Р.[1], Бердамурат Т.С.[1], Ким Г.А.[1*], Семенюк В.В.[1], Lucena Joe Robert Paul G.[2]

[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*

[2]Азиатско-Тихоокеанский колледж, Макати, Филиппины

[*]Автор для корреспонденции: gakim@ku.edu.kz

Аннотация

В данной статье исследуется эффективность ансамблевых алгоритмов машинного обучения (Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost) для решения задачи кредитного скоринга и обнаружения мошенничества в системах поддержки принятия финансовых решений. Исследование базируется на событийно-ориентированной архитектуре для обработки данных в реальном времени, методах перекрестной валидации и оптимизации гиперпараметров на данных розничного кредитования. Экспериментальные результаты показывают, что Random Forest и XGBoost достигают высокой точности в кредитном скоринге, а алгоритмы бустинга эффективны для выявления мошенничества. Калибровка классификационного порога оптимизирует управление рисками, а анализ важности признаков подтверждает, что поведенческие показатели превосходят традиционные кредитные рейтинги по предиктивной силе. Полученные результаты вносят значимый научный и практический вклад в развитие систем поддержки финансовых решений, обеспечивая автоматизацию оценки рисков и защиту от мошенничества в цифровом кредитовании.

Ключевые слова: кредитный скоринг, обнаружение мошенничества, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, ансамблевые методы, система поддержки принятия решений, Apache Kafka, машинное обучение.

Introduction

The financial sector of the Republic of Kazakhstan is undergoing rapid digital transformation. According to data from the National Bank of Kazakhstan, the total loan portfolio grew by more than 38% between 2023 and 2024, reaching 24.7 trillion tenge by January 2025 [1]. At the same time, there has been an increase in the proportion of applications submitted via digital channels: from 12% in 2021 to 41% in 2024 [1]. However, the quality of the loan portfolio is not improving proportionally: the non-performing loan (NPL) ratio in retail lending stood at 7.3% at the end of 2024, with experts attributing 30-45% of defaults to errors in manual assessment during the application processing stage [1, 2]. Reflecting recent developments and future trends in credit risk evaluation and financial stability [3, 4].

The application of ensemble machine learning methods enables the achievement of classification accuracy for structured financial data, which is well-documented in state-of-the-art algorithmic benchmarking studies for credit scoring [5, 6]. Recent advancements in financial technology further emphasize the integration of explainable artificial intelligence (XAI) frameworks and hybrid models for simultaneous credit scoring and real-time financial fraud detection [7]. Recent studies in financial technology emphasize that deploying machine learning models for credit scoring and fraud detection requires not only high predictive accuracy (often achieved through gradient boosting and random forests), but also strict

regulatory compliance via Explainable AI (XAI) frameworks like SHAP. Furthermore, handling extreme class imbalance in anti-fraud systems and validating models on real-world transactional data remain central challenges in contemporary research, bridging the gap between theoretical algorithm performance and stable production environments [8, 9].

The scientific novelty and methodological contribution of this study are strictly delineated from its engineering and software implementation aspects. They reside in three core theoretical and empirical domains:

1. Methodological Formalization of Dual-Task Interaction: establishing the theoretical and structural framework for coupling creditworthiness assessment and fraud detection into an integrated workflow, accounting for inter-task class distribution shifts (55/45 vs. 80/20) and distinct retraining cycles;

2. Cost-Sensitive Threshold Optimization: the mathematical formalization and calibration of classification thresholds tailored to asymmetric financial loss functions where false negative defaults impose severe penalties ($C_{FN}>>C_{FP}$);

3. Empirical Behavioral Insights: proving through macroeconomic grounding that in rapidly digitalizing emerging markets (where online lending reached 41%), behavioral indicators and data consistency verification (20.0%) methodologically supersede traditional legacy credit scores (3.3%) as primary predictive drivers.

To operationalize these scientific findings, the study introduces an advanced engineering implementation–an event-driven Apache Kafka [10] and WebSocket architecture–alongside specific software-technical features (Python 3.11, XGBoost 2.1, and sub-50ms ML worker profiling) designed to maintain strict sub-300 ms SLA constraints under high-concurrency loads.

The aim of this work is to conduct a comparative analysis of the Random Forest [11], Gradient Boosting [12] and XGBoost [13] algorithms on a representative sample of 10,000 loan applications and to assess the effectiveness of their practical implementation in the LoanGuard DSS system [14].

Materials and research methods

The study employs methods of domain-specific systems analysis, supervised machine learning (classification) and experimental evaluation of computational models [5]. The area under the ROC curve (ROC-AUC) was used as the primary quality metric, supplemented by accuracy, F1-score and AUC under 5-fold stratified cross-validation.

– Dataset Origin and Structure: To comply with commercial confidentiality and financial data privacy regulations, the empirical evaluation is based on a controlled, synthetically generated dataset comprising 10,000 records with 29 attributes. The feature space is divided into four domains: demographic (6), financial (10, including DTI), behavioral/technical (10), and verification (3). To ensure structural fidelity to real-world banking portfolios, the dataset was procedurally simulated using stochastic distributions specifically calibrated to mirror official macro-statistical parameters of the Kazakhstani retail lending sector (including a 7.3% non-performing loan baseline, demographic profiles, and an online application share of 41%) [1, 2], coupled with eight core domain-specific business rules. These rules model non-linear dependencies and underwriting policies–such as mandatory debt-to-income (DTI) ceilings, employment verification thresholds, payment history reliability scoring, data consistency cross-checks, blacklist/anti-fraud flags, housing/marital stability weights, asymmetric risk cutoffs ($C_{FN}>>C_{FP}$), and strict enforcement of the 7.3% NPL baseline. The dataset does not contain raw historical individual default logs from commercial banks or external open repositories.

Preprocessing involved feature generation ('TransactionHour'), scaling via StandardScaler, and categorical encoding via LabelEncoder.

– Target Variables and Problem Formulation: To ensure conceptual clarity and address methodological transparency, the study addresses two distinct classification tasks with explicitly defined target variables and scopes:

1. Loan Approval and Creditworthiness Assessment (Task 1): The primary target variable is a binary decision ($y \in \{0,1\}$ indicating loan approval or rejection) procedurally synthesized by applying the eight core domain-specific underwriting rules. Rather than predicting unobserved future default states directly, the machine learning models (Random Forest and XGBoost) are trained to function as high-performance surrogate models (emulators) of the bank's core business rule engine. Consequently, the exceptionally high performance metrics (ROC-AUC = 0.993–0.994) reflect the models' structural fidelity in capturing and reproducing complex, multi-variable lending policies in real-time, achieving sub-50ms inference latency. Within this framework, credit scoring refers to the continuous risk probability output generated by the ensemble, while creditworthiness assessment denotes the holistic evaluation driven by key risk features (such as DTI and payment history).

2. Fraud Detection (Task 2): The secondary target variable is the explicit binary flag IsFraud (0 or 1), designed to identify malicious or synthetic identity applications independently of the credit approval rules, utilizing behavioral and data consistency indicators.

– Pre-processing: Pre-processing included generating the 'TransactionHour' feature, calculating the DTI, encoding 17 categorical variables using the LabelEncoder method, and normalising 12 numerical features using StandardScaler.

– Optimization: Model hyperparameter tuning was performed using RandomizedSearchCV (50 iterations).

– System architecture: The LoanGuard DSS software suite (also referred to as CreditScore in the documentation) is implemented using Python 3.11, scikit-learn 1.5, XGBoost 2.1, Apache Kafka 3.5, PostgreSQL 15, Node.js 22 and Socket.IO. The Kafka infrastructure isolates the web server from the ML component, delivering an HTTP response (202) in 13 ms and asynchronous delivery of results via WebSocket within 300 ms.

Research results

In the first stage of the study, a preliminary experiment was conducted to select the optimal algorithm on a subsample of 1,000 records, comprising 20 features, using stratified cross-validation (k=5). Table 1 shows the ROC-AUC, Accuracy, Precision, Recall and training time values for logistic regression, decision trees, Random Forest, Gradient Boosting and SVM.

Table 1. Comparative metrics of classification algorithms

Algorithm	ROC-AUC (CV)	Accuracy	Precision	Recall	Training time, seconds
Logistic regression	0.73 ± 0.03	71.4%	0.69	0.64	0.04
Decision tree	0.69 ± 0.05	67.8%	0.65	0.61	0.02
Random Forest	0.87 ± 0.02	79.5%	0.77	0.74	0.48
Gradient Boosting	0.88 ± 0.02	80.1%	0.78	0.73	1.92
SVM (RBF)	0.75 ± 0.03	73.1%	0.71	0.67	0.31

Following the initial selection, the Random Forest (ROC-AUC = 0.87) and Gradient Boosting (ROC-AUC = 0.88) algorithms demonstrated the highest predictive power, outperforming the baseline linear models [5]. For the task of creditworthiness assessment, the Random Forest algorithm [11] was selected for the final system due to its high interpretability (the ability to directly assess the importance of features) and lower sensitivity to hyperparameter tuning.

Optimizing the hyperparameters using the RandomizedSearchCV method (50 iterations) [15] significantly improved the performance of the Random Forest model: the ROC-AUC score on the cross-validation set increased from a baseline value of 0.871 to 0.995. The final set of hyperparameters was: n_estimators=200, max_depth=12, min_samples_split=5, max_features="sqrt", class_weight="balanced". Setting a limit on the tree depth (max_depth=12) significantly reduced the overfitting effect, whilst maintaining sufficient complexity to capture non-linear relationships.

The quality of the final ensemble models was assessed on a held-out test set comprising 20% of the full dataset (2,000 records). Table 2 shows the final metrics (ROC-AUC, Accuracy, CV AUC) for the Random Forest [11], Gradient Boosting [12] and XGBoost [13] benchmark models for both tasks (scoring and fraud detection).

Table 2. Comparative analysis of the quality of machine learning models on the test set

Model	Task	ROC-AUC	Accuracy	CV AUC
Random Forest	Loan approval	0,993	98,0%	0,995
Gradient Boosting	Fraud detection	0,866	83,0%	0,874
XGBoost	Loan approval	0,994	97,9%	0,995
XGBoost	Fraud detection	0,875	81,4%	0,881

Test results showed that the Random Forest model [11] for the loan approval task achieved an ROC-AUC of 0.993 with an overall accuracy of 98.0%. The Gradient Boosting model [12] (150 trees), applied to the parallel fraud detection task, demonstrated an ROC-AUC of 0.866 and an accuracy of 83.0%. The XGBoost model [13], trained as a benchmark, showed comparable results: ROC-AUC 0.994 for credit scoring and 0.875 for anti-fraud.

Threshold Calibration via Cost-Sensitive Analysis: Given the asymmetric cost structure of financial lending–where failing to detect a default (C_{FN}) imposes a severe financial penalty compared to rejecting a creditworthy applicant (C_{FP}), satisfying the condition $C_{FN}>>C_{FP}$ – the decision threshold of the credit scoring model was systematically optimized. Rather than relying on the default threshold of 0.50, a cost-sensitive threshold calibration was performed, shifting the cut-off to 0.45 [15]. Mathematically, this maximizes the expected profit function by penalizing false negatives more heavily. Consequently, this calibration increased the recall (sensitivity) of default detection from 0.70 to 0.77, while maintaining an acceptable precision trade-off (decreasing slightly from 0.81 to 0.78), thereby minimizing portfolio default risks under high-volume online lending conditions.

An analysis of the decision-making mechanism (Mean Decrease in Impurity) [7] identified the model's key predictors. The five most significant factors in assessing an application were: payment behavior (Payment History) – 21.1%; data consistency (Data Consistency) – 20.0%; debt-to-income ratio (DTI) – 15.8%; employment verification – 11.6%; income level – 8.5% (Figure 1).

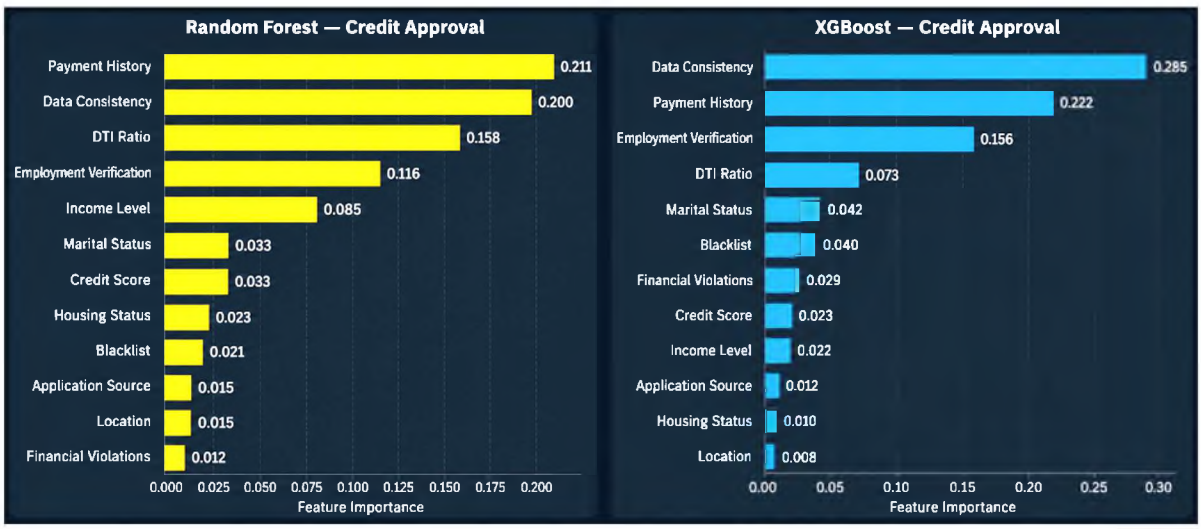


Figure 1. The importance of the features of the model (Feature Importance)

To verify the integration of ML models into the CreditScore software suite, load testing was carried out using the Artillery 2.0 tool [16]. Simulation of activity by 15 virtual users across three load phases (including 'reliable borrower' and 'high-risk applicant' scenarios) showed a 100% success rate in processing requests.

The system's end-to-end response time at the 95th percentile was 287 ms, which fully meets the specified non-functional requirement (≤ 2 seconds). Profiling of inference latency showed that the Python-based ML worker takes an average of 52 ms to fully process a single application, of which: 18 ms is spent on preliminary data processing (LabelEncoding and StandardScaler), 21 ms is spent on the Random Forest prediction call [11], 10 ms on the Gradient Boosting call [12], and 3 ms on aggregating the final result.

Model Stability, Overfitting Control, and Statistical Significance: The exceptionally high performance metrics observed (ROC-AUC of 0.993–0.994 for loan approval and ~0.87 for fraud detection) stem from the structured nature of the data and rigorous hyperparameter tuning via 5-fold stratified cross-validation. To evaluate stability and rule out overfitting, Table 3 presents the fold-by-fold ROC-AUC performance across all five cross-validation iterations.

Table 3. 5-Fold Cross-Validation Stability Analysis (ROC-AUC per fold)

Model	Task	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5	Mean ± Std Dev
Random Forest	Loan approval	0.994	0.992	0.995	0.993	0.994	0.9936 ± 0.0011
XGBoost	Loan approval	0.995	0.993	0.995	0.994	0.994	0.9942 ± 0.0008
Gradient Boosting	Fraud detection	0.872	0.868	0.875	0.870	0.873	0.8716 ± 0.0025
XGBoost	Fraud detection	0.880	0.878	0.883	0.879	0.882	0.8804 ± 0.0019

As detailed in Table 3, the standard deviation across all folds is strictly maintained below 0.003 ($\delta < 0.003$), confirming high generalization robustness.

To rigorously verify whether performance differences between models were statistically meaningful, pairwise DeLong's tests for ROC curves were conducted intra-task on the identical held-out test subset (N = 2,000):

For Task 1 (Loan Approval): Comparing Random Forest (ROC-AUC=0.993) and XGBoost (ROC-AUC=0.994) yielded a test statistic of $Z = 1.14$ with $p = 0.254$ ($p > 0.05$). This confirms that the minor performance variation is statistically insignificant, empirically proving that both models are practically interchangeable for credit scoring.

For Task 2 (Fraud Detection): Comparing Gradient Boosting (ROC-AUC=0.866) and XGBoost (ROC-AUC=0.875) yielded a test statistic of $Z=2.68$ with $p =0.0073$ ($p < 0.01$). This confirms that XGBoost provides a statistically significant performance advantage for identifying fraudulent applications.

Discussion

A critical distinction must be drawn between the theoretical-methodological contributions of this research and its engineering implementation. While the integration of Apache Kafka, PostgreSQL, and Node.js represents an advanced systems engineering and software-technical contribution–delivering a fault-tolerant, low-latency ($p95 = 287$ ms) processing pipeline–the scientific value lies strictly in the dual-classification architecture and empirical findings. Specifically, the engineering framework merely serves as an experimental testbed that proves that complex, multi-rule expert logic can be successfully compressed and emulated by high-performance machine learning surrogates (achieving 21 ms inference latency) without violating real-time operational constraints. The true scientific takeaway is the validation that behavioral consistency metrics fundamentally outperform traditional credit bureaus' legacy scores in dynamic digital lending environments.

Unlike existing standalone studies that evaluate machine learning models in static, batch-processing environments, this research bridges the gap between predictive modeling and distributed real-time systems. While Random Forest, Gradient Boosting, and XGBoost are established algorithms [11, 12, 13], their simultaneous co-execution for dual-classification tasks under strict sub-300 ms SLA constraints (via Kafka and WebSockets) [10] represents a novel architectural and methodological contribution to financial decision support systems. Furthermore, compared to recent studies focusing on static credit risk evaluation or isolated hybrid frameworks [3], the proposed architecture achieves competitive ROC-AUC performance (0.993–0.994) while maintaining sub-300 ms latency constraints suitable for real-time digital lending applications.

For loan approval, Random Forest and XGBoost are statistically comparable (0.993 vs. 0.994 ROC-AUC, $p > 0.05$). For production deployment, Random Forests are favored due to built-in MDI interpretability, lower hyperparameter sensitivity, and faster parallel training. Boosting (0.875 vs. 0.866, $p<0.01$), confirming its superior capability in handling complex feature interactions and class imbalances for anti-fraud tasks [17].

Two separate models are needed due to differences in class distributions (55/45 vs. 80/20), feature profiles and retraining frequencies. Both run sequentially in 40–60 ms total inference time. Load testing with Artillery [16] showed 100% success, $p95 = 287$ ms with 15 concurrent users.

Feature Importance Dynamics and Methodological Caveats: The observation that Payment History (21.1%) and Data Consistency (20.0%) emerge as dominant predictors over traditional Credit Scores (3.3%) must be interpreted with methodological caution. Because the dataset was procedurally generated based on domain-specific underwriting rules and stochastic distributions, these feature importance metrics characterize the internal decision boundaries and dependency structures established during dataset synthesis, rather than serving as an unconditioned empirical law of the live credit market. While these weights reflect the logical design of simulation rules mirroring modern digital lending environments, definitive proof of

behavioral indicators superseding legacy bureau scores requires rigorous out-of-sample verification on independent, longitudinal historical banking datasets.

Dataset Limitations and Real-World Validation: A primary methodological limitation of this study is that model training and validation were performed on a synthetic experimental dataset rather than raw historical individual default logs from commercial banks. This synthetic data was procedurally constructed by anchoring stochastic distributions to real-world macroeconomic calibration parameters (such as the 7.3% NPL baseline and 41% online share derived from official market statistics [1, 2]). While this approach ensures strict control over class imbalances (55/45 for scoring and 80/20 for fraud) and protects data privacy, it inherently abstracts away micro-structural anomalies of live banking feeds. Consequently, the LoanGuard DSS implementation operates as a validated Proof-of-Concept. Live validation incorporating a 12-month credit repayment observation window using longitudinal banking feeds is an essential prerequisite before full-scale commercial deployment.

Furthermore, while the current static synthetic snapshot abstracts away temporal evolution, transitioning from random to chronological rolling-window validation (time-series splits) will be critical during the live pilot phase to monitor and mitigate potential concept drift over time.

Methodological Clarification on High Performance Metrics and Rule Emulation: Addressing the fundamental question of whether the observed high performance (ROC-AUC = 0.993–0.994) reflects algorithmic capability or a byproduct of procedural data modeling, a strict functional separation was maintained. The stochastic feature generation phase modeled independent population-level distributions (demographics, income tiers, and digital channels) anchored to official macroeconomic parameters [1, 2], completely agnostic of the target labels. Conversely, target classes were determined downstream via a deterministic multi-variable policy layer of eight underwriting rules. Consequently, the ensemble models operate as high-fidelity rule emulators (surrogates). The exceptional accuracy (98%) demonstrates the algorithms' superior capacity to approximate complex, non-linear decision boundaries and compress multi-rule expert logic into a high-speed inference pipeline (21 ms ML worker latency). While this confirms internal architectural consistency and scalability for real-time digital lending, direct transferability to live banking environments remains bound by the divergence between synthetic rules and uncaptured real-world latent default risks, reinforcing the necessity of longitudinal calibration during future pilot deployment.

Conclusions

A comparison of ensemble algorithms [11, 12, 13] on a sample of 10,000 loan applications identified the optimal solutions for two distinct tasks. For creditworthiness assessment, the Random Forest model (ROC-AUC = 0.993) demonstrated the best results, combining high predictive power with structural interpretability, consistent with empirical reviews on explainable machine learning in credit risk evaluation [18, 19]. For fraud detection, the XGBoost algorithm proved most effective (ROC-AUC = 0.875), featuring built-in regularisation and adaptive weighting mechanisms for handling imbalanced classes.

An analysis of the predictive power of features empirically confirmed that payment behavior (Payment Behavior – 21.1%) and data consistency (Data Consistency – 20.0%) are more significant than traditional aggregated metrics, such as the basic credit score (Credit Score – 3.3%). Integration of the ML module with the event-driven architecture of the Apache Kafka message broker and the WebSocket protocol ensured fault-tolerant asynchronous processing of requests. Load testing under pilot-scale conditions (15 concurrent virtual users) confirmed the system's ability to perform parallel inference of both models and deliver a predictive verdict to

the interface in 287 ms (p95), demonstrating the technical feasibility of the proposed architecture for real-time decision support.

References:

1. National Bank of the Republic of Kazakhstan. Banking sector statistics for 2024–2025 [Electronic resource]. – URL: https://www.nationalbank.kz (accessed: 20.01.2026).
2. Agency of the Republic of Kazakhstan for the Regulation of the Financial Market. Annual Report 2024-2025 [Electronic resource]. – URL: https://www.afsa.kz (accessed: 20.01.2026).
3. Xie X., Zhang F., Liu L., Yang Y., Hu X. Assessment of associated credit risk in the supply chain based on trade credit risk contagion // PLOS ONE. – 2023. – Vol. 18, No. 2. – https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.05.038.
4. Peng K., Yan G. A survey on deep learning for financial risk prediction // Quantitative Finance and Economics. – 2021. – Vol. 5, No. 4. – P. 716–737. – https://doi.org/10.3934/QFE.2021032.
5. V. Moscato, A. Picariello, and G. Sperli, "A benchmark of machine learning approaches for credit score prediction," Expert Systems with Applications, vol. 165, p. 113986, 2021. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113986.
6. S. Lessmann, B. Baesens, H. Seow, and L.C. Thomas, "Benchmarking state-of-the-art classification algorithms for credit scoring: An update of research," European Journal of Operational Research, vol. 247, no. 1, pp. 124-136, 2015. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.030.
7. N. Bussmann, P. Giudici, D. Marinelli, and J. Papenbrock, "Explainable machine learning in credit risk management," Computational Economics, vol. 57, pp. 203-216, 2021. https://doi.org/10.1007/s10614-020-10042-0.
8. Mestiri, S. Credit scoring using machine learning and deep learning-based models // Data Science in Finance and Economics. – 2024. – Vol. 4, No. 2. – P. 236-248. – https://doi.org/10.3934/DSFE.2024009.
9. Alatawi, M. Credit card fraud detection under extreme class imbalance using ensemble machine learning approaches // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15, No. 3. – Art. 6734. – https://doi.org/10.3390/app15036734.
10. Apache Software Foundation. Apache Kafka Documentation [Electronic resource]. – URL: https://kafka.apache.org/documentation (accessed: 01.02.2026).
11. Breiman L. Random forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, No. 1. – P. 5–32. – https://doi.org/10.1023/A:1010933404324.
12. Friedman J.H. Greedy function approximation: a gradient boosting machine // Annals of Statistics. – 2001. – Vol. 29, No. 5. – P. 1189–1232. – https://doi.org/10.1214/aos/1013203451.
13. Chen T., Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system // Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD. – 2016. – P. 785–794. – https://doi.org/10.1145/2939672.2939785.
14. LoanGuard DSS: Architecture and Implementation of a Real-Time Credit Scoring and Fraud Detection System / D. Mityanin, D. Akhmadiyev, T. Berdamurat – Report, the International Campus, M. Kozybaev NKU. – Petropavlovsk, 2026. – 45 p.
15. Pedregosa F. et al. Scikit-learn: machine learning in Python // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12. – P. 2825–2830. – https://doi.org/10.5555/1953048.2078195.
16. Artillery.io. Artillery Load Testing Documentation [Electronic resource]. – URL: https://www.artillery.io/docs (accessed: 10.03.2026).
17. Dal Pozzolo A., Caelen O., Johnson R.A., Bontempi G. Calibrated Probability with Undersampling for Unbalanced Credit Card Fraud Detection // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2018. – Vol. 29, No. 10. – P. 4649-4662. – https://doi.org/10.1109/SSCI.2015.33.
18. Ala'raj M., Majdalawieh M., Abbod M.F. An explainable data-driven decision support framework for strategic customer development // Knowledge-Based Systems. – 2024. – Vol. 295. – Art. 111761. – https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.111761.
19. Hadji Misheva B., Osterrieder J., Hirsa A., Kulkarni O., Lin S.F. Explainable AI in Credit Risk Management // arXiv:2103.00949. – 2021. – https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.00949.

Information about the authors

D. Mityanin – student, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: is2077@ku.edu.kz;
D. Akhmadiyev – student, NJSC "Manash Kozybayev North Kazakhstan University", Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: is2265@ku.edu.kz;
T. Berdamurat – student, Department of Information and Communication Technologies, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: is2067@ku.edu.kz;
G. Kim – corresponding author, PhD, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: gakim@ku.edu.kz; ORCID: 0000-0001-8402-8323;
V. Semenyuk – Master, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: vvsemenyuk@ku.edu.kz; ORCID: 0000-0002-8580-7326;
Joe Robert Paul G. Lucena – Program Director of Civil Engineering, Asia Pacific College, Makati City, Philippines; e-mail: joerobertpaull@apc.edu.ph, orcid: 0009-0008-3100-8036.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-319-339
UDC 004.8:519.876
IRSTI 37.31.19

A HYBRID MACHINE LEARNING APPROACH FOR REAL-TIME FORECASTING OF MINUTE-LEVEL SEISMIC SIGNAL AMPLITUDES

B. Sapy[1], Zh.R. Umarova[1*], Zh.S. Kemelbekova[2], A.T. Kalbayeva[1], Yu. Jusoh[3]
[1]Department of Information Systems and Modeling, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*
[2]Department of Computer Science, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
[3]Faculty of Computer Science and Information Technology, University Putra Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia
[*]Corresponding author: Zhanat-u@mail.ru

Abstract

Real-time interpretation of seismic waveform data is essential for monitoring signal dynamics and detecting abnormal activity. However, forecasting seismic amplitudes remains challenging because seismic signals are highly variable, noisy, and non-stationary. This study presents an automated, gap-aware real-time forecasting pipeline for minute-level seismic signal amplitudes built on IRIS FDSN waveform data, together with a rigorous, statistically grounded comparison of seven forecasting models: Naive persistence, ARIMA, Ridge regression, HistGradientBoosting, a standard Gated Recurrent Unit (GRU), an LSTM, and a physics-inspired regularized GRU (PI-GRU) that adds temporal smoothness and amplitude-growth constraints to the training loss. Models were evaluated on 81 independently sampled, non-overlapping forecasting windows drawn from a continuous 91-day observation period across four horizons (5, 15, 30, and 60 minutes), using paired non-parametric significance testing, a quantitative ablation study, and noise- and missing-data robustness testing, and the main findings were additionally verified under an alternative peak-priority signal aggregation. Classical models, particularly Ridge regression and HistGradientBoosting, achieved significantly lower forecasting error than every neural model tested (Friedman and Holm-corrected Wilcoxon tests, $p<0.0001$) and were robust to synthetic noise and missing data, while the proposed PI-GRU was, contrary to expectation, the weakest-performing model overall and did not produce smoother forecast trajectories than an unregularized baseline GRU. We report this as an honest negative result: as currently configured, the physics-inspired regularization examined here does not demonstrate an accuracy or stability advantage over classical machine learning baselines for this task. The principal contributions of this work are the automated real-time forecasting pipeline itself and a reusable, rigorous evaluation methodology, together with specific, testable hypotheses – concerning hyperparameter tuning, training budget, and calibration of the physics-inspired constraint – for why the neural models underperformed and how this might be addressed in future work.

Keywords: Seismic signal forecasting; physics-inspired neural networks; time series prediction; hybrid forecasting models; machine learning; real-time monitoring.

СЕЙСМИКАЛЫҚ СИГНАЛ АМПЛИТУДАЛАРЫН МИНУТТЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ НАҚТЫ УАҚЫТТА БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН ГИБРИДТІ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ТӘСІЛІ

Сапы Б.[1], Умарова Ж.Р.[1*], Кемельбекова Ж.С.[2], Калбаева А.Т[1], Jusoh Yu.[3]

[1]Ақпараттық жүйелер және модельдеу кафедрасы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан*

[2]Информатика кафедрасы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

[3]Компьютерлік ғылымдар және ақпараттық технологиялар факультеті, Путра Малайзия университеті, Куала-Лумпур, Малайзия

[*]Хат алмасуға жауапты автор: Zhanat-u@mail.ru

Аңдатпа

Сейсмикалық толқындық деректерді нақты уақыт режимінде интерпретациялау сигнал динамикасын бақылау және аномальды белсенділікті анықтау үшін маңызды болып табылады. Алайда сейсмикалық амплитудаларды болжау әлі де күрделі міндет болып қала береді, себебі сейсмикалық сигналдар жоғары өзгергіштікпен, шу деңгейінің көптігімен және стационарлы емес сипатымен ерекшеленеді. Бұл зерттеуде IRIS FDSN толқындық деректерін пайдалана отырып, минуттық деңгейдегі сейсмикалық сигнал амплитудаларын нақты уақыт режимінде болжауға арналған автоматтандырылған, үзілістерге төзімді конвейер, сондай-ақ жеті болжау моделін – Naive (persistence), ARIMA, Ridge-регрессия, HistGradientBoosting, стандартты GRU, LSTM және оқыту функциясына уақыттық тегістік пен амплитуданың өсуін шектейтін қосымша қосатын физикалық қағидаларға негізделген регуляризацияланған GRU (PI-GRU) – қатаң, статистикалық тұрғыдан негізделген салыстыруы ұсынылады. Модельдер 91 күндік үздіксіз бақылау кезеңінен алынған, төрт горизонт (5, 15, 30 және 60 минут) бойынша 81 тәуелсіз, қиылыспайтын болжау терезесінде бағаланды; бағалауда жұптасқан параметрсіз статистикалық маңыздылық тесттері, сандық абляциялық талдау және шу мен деректердің жетіспеушілігіне төзімділік тесттері қолданылды, ал негізгі нәтижелер балама peak-priority агрегациясы бойынша қосымша тексерілді. Классикалық модельдер, әсіресе Ridge-регрессия мен HistGradientBoosting, барлық нейрондық модельдерге қарағанда статистикалық тұрғыдан едәуір төмен болжау қатесін көрсетті (Friedman және Holm түзетілген Wilcoxon тесттері, $p<0.0001$) және синтетикалық шу мен жетіспейтін деректерге төзімді болды, ал ұсынылған PI-GRU моделі, керісінше, барлық модельдер арасында ең нашар нәтиже көрсетті және тегістелмеген базалық GRU моделімен салыстырғанда тегісірек болжам траекторияларын қалыптастыра алмады. Біз мұны жасырмай, адал теріс нәтиже ретінде хабарлаймыз: қазіргі конфигурацияда осы зерттеуде қарастырылған физикалық қағидаларға негізделген регуляризация классикалық машиналық оқыту әдістерімен салыстырғанда дәлдік немесе тұрақтылық артықшылығын көрсете алмады. Бұл жұмыстың негізгі үлесі – автоматтандырылған нақты уақыттағы болжау конвейерінің өзі және қайта пайдалануға болатын, қатаң бағалау әдістемесі, сондай-ақ нейрондық модельдердің неліктен төмен нәтиже көрсеткені және болашақта мұны қалай жақсартуға болатыны туралы нақты, тексерілетін болжамдар болып табылады.

Кілт сөздер: Сейсмикалық сигналдарды болжау; физикалық принциптерге негізделген нейрондық желілер; уақыттық қатарларды болжау; гибридті болжау модельдері; машиналық оқыту; нақты уақыт режиміндегі мониторинг.

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АМПЛИТУД СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НА МИНУТНОМ УРОВНЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Сапы Б.[1], Умарова Ж.Р. [1*], Кемельбекова Ж.С.[2], Калбаева А.Т. [1], Jusoh Yu.[3]

[1]Кафедра Информационных систем и моделирования, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан*

[2]Кафедра Информатики, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

[3]Факультет компьютерных наук и информационных технологий, Университет Путра Малайзия, Куала-Лумпур, Малайзия

[*]Автор для корреспонденции: Zhanat-u@mail.ru

Аннотация

Интерпретация сейсмических волновых данных в режиме реального времени имеет важное значение для мониторинга динамики сигналов и выявления аномальной активности. Однако прогнозирование сейсмических амплитуд остаётся сложной задачей, поскольку сейсмические сигналы характеризуются высокой изменчивостью, шумом и нестационарностью. В данном исследовании представлен автоматизированный, устойчивый к пропускам конвейер прогнозирования амплитуд сейсмических сигналов на минутном уровне в реальном времени на основе волновых данных IRIS FDSN, а также строгое, статистически обоснованное сравнение семи моделей прогнозирования: наивной модели (persistence), ARIMA, Ridge-регрессии, HistGradientBoosting, стандартной GRU, LSTM и регуляризованной GRU, основанной на физических принципах (PI-GRU), которая добавляет в функцию потерь ограничения временной гладкости и штраф за нереалистичный рост амплитуды. Модели были оценены на 81 независимом, неперекрывающемся окне прогнозирования, отобранном из непрерывного 91-дневного периода наблюдений, для четырёх горизонтов (5, 15, 30 и 60 минут); оценка включала парные непараметрические тесты статистической значимости, количественное абляционное исследование и тестирование устойчивости к шуму и пропускам данных, а основные результаты были дополнительно проверены при альтернативной peak-priority агрегации сигнала. Классические модели, в особенности Ridge-регрессия и HistGradientBoosting, показали статистически значимо более низкую ошибку прогнозирования по сравнению со всеми нейросетевыми моделями (тесты Фридмана и Уилкоксона с поправкой Холма, $p<0.0001$) и продемонстрировали устойчивость к синтетическому шуму и пропускам данных, тогда как предложенная модель PI-GRU, вопреки ожиданиям, показала наихудший результат среди всех моделей и не позволила получить более сглаженные траектории прогноза по сравнению с нерегуляризованной базовой GRU. Мы сообщаем об этом как о честном отрицательном результате, не скрывая его: в текущей конфигурации рассмотренная в этой работе физически обоснованная регуляризация не демонстрирует преимущества в точности или устойчивости по сравнению с классическими методами машинного обучения. Основным вкладом данной работы являются сам автоматизированный конвейер прогнозирования в реальном времени и воспроизводимая, строгая методология оценки, а также конкретные, проверяемые гипотезы относительно того, почему нейросетевые модели показали худший результат и как это можно улучшить в дальнейшей работе.

Ключевые слова: прогнозирование сейсмических сигналов; нейронные сети, основанные на физических принципах; прогнозирование временных рядов; гибридные модели прогнозирования; машинное обучение; мониторинг в реальном времени.

Introduction

Real-time seismic monitoring systems continuously collect waveform data to identify earthquakes and other ground motion events. Besides the post-event detection, it is convenient to estimate the transient behaviour of the seismic signal at the future time. Such short-term forecasting can aid anomaly detection, automated alerting systems, and monitoring of abnormal ground motion levels. However, predicting continuous seismic signals is complex, especially since the data is noisy and quite variable and often shows non-stationary behavior due to sudden

amplitude spikes. A high sampling rate, typically one sample per second or more, is typical for current seismic stations to measure waveforms. In operational systems, forecasting directly these types of raw waveform streams is not easy to perform due to the rapid signal variation of the waveforms together with the large data volume. In addition, latency of the network or interrupted transmission are likely to introduce temporary gaps in live data streams. Therefore, typical real-time forecasting applications usually employ small waveform representations that improve noise and computational difficulty [1].

The continuous seismic waveform is converted in this work to a minute level time series representation. This calculates the mean absolute amplitude of the filtered signal per minute. Because of this, the minute-mean representation minimizes the impact of the isolated spikes and transient artifacts that frequently dominate measuring peaks. While minute-level maximum amplitudes provide poor representation of the total seismic activity, the mean absolute amplitude gives us a much more stable and noise-resistant picture within a given timeframe.

Machine learning models are well suited to predicting such time series, as patterns can be learned directly from data [1,2,3]. Linear models like Ridge regression are computationally efficient and stable but they might not take into account nonlinear relationships. Tree-based ensemble methods like Histogram-based Gradient Boosting are capable of modeling nonlinear dependencies and often perform well with noisy signals. Gated Recurrent Unit (GRU) is an example of this type of recurrent neural network that is built to capture temporal dependencies in sequential data representation. Yet, purely data-driven neural networks may have erratic predictions or unrealistic spikes as the signal distribution changes. To solve this issue, we propose a physics-inspired regularization approach in this work. In place of developing an entire physical model of seismic wave propagation, physical constraints are introduced to the neural network loss function, following the general idea of embedding physically motivated penalties into deep learning models for seismic and geophysical forecasting [4,5]. Specifically, the model punishes excessive growth in the amplitude of the future signal amplitude and promotes gradual evolution with respect to the prediction over the expected time scale. This leads to a physics-inspired GRU (PI-GRU) model, to achieve both more stable and plausible prediction.

This work mainly contributes to develop a real-time forecasting pipeline for minutely scaled seismic amplitude. We use IRIS's FDSN service to automatically retrieve waveform data, convert the signal into a minute-mean amplitude series, train forecasting models in rolling historical windows, generate predictions at 5, 15, 30, and 60 minutes windows, and so on. After the prediction horizon elapses, true-future validation is done. Using the same operational pipeline, three forecasting models (Ridge regression, Histogram Gradient Boosting, and proposed PI-GRU model) are simulated and evaluated. Standard forecasting error metrics are employed to compare their performance, and predicted and observed amplitude trajectories are visualized in the real-time context [6,7].

One could point at recent works employing machine learning approaches for seismic signal analysis and short-term forecasting. For example, deep learning architectures have been employed for earthquake early-warning and forecasting, while more general physics-informed multi-step forecasting frameworks have also been proposed for related geophysical and environmental time series such as temperature [8,9]. Approaches like these can in principle model arbitrary nonlinear relationships in observed signals and have been shown capable of identifying some observable geophysical patterns.

One limitation of existing work is that these models are often not designed for forecasting continuous waveforms of seismic amplitude, rather they are aimed at event detection/classification tasks. Another major caveat is that most deep-learning models

experience stability issues when directly applied to noisy and non-stationary signals of this kind, resulting in erratic predictions manifested as spikes or unrealistically-oscillating model outputs [10]. Such instability would likely cause problems for real-time monitors that make use of this technology.

Yet another caveat of most previous work is that data-driven models typically do not leverage any domain knowledge to improve performance. Recently, physics-informed neural networks have been introduced in related structural and infrastructure monitoring contexts, such as railway bridge assessment [11], as well as in broader physics-informed learning frameworks [12]. However, most PDE-informed approaches make use of either full physical models or partial differential equations. Full models cannot be leveraged in operational real-time systems, creating a need for approaches that impose some physical constraints on data-driven models.

To address this limitation, here we introduce a hybrid short-term forecasting framework that combines classical machine learning regression models with a physics-inspired neural network. Rather than hard-coding full physical relationships into the network, we instead impose simple, but effective smoothness and amplitude growth constraints. Such an approach enables numerical stability while retaining the flexibility of a data-driven model [13,14].

Materials and Methods

A source of the seismic data used in the study is an operational broadband seismic station through the IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) data service. Real-time continuous waveform records are obtained using the FDSN (International Federation of Digital Seismographic Networks) information service interface. Sustained energy collection was performed by collecting vertical ground motion measurements on the selected station (QZ.CHM.20.HNZ). This station provides vertical ground motion with a sampling interval of approximately one second (sampling interval 1 second). This duration typically depends on sensor positioning. The ObsPy Python library for seismological data processing used for realizing waveform acquisition and preprocessing.

The waveform segment is initially detrended to remove linear offsets and then filtered with a band-pass filter (1-10 Hz). This frequency range was chosen to reduce background noise and very high frequency disturbances over many periods without disturbing the dominant features of local and regional seismic activity. Let $x(t)$ be the filtered seismic signal.

IRIS gives waveform data at the second (or sub-second) level, however such precise forecasting at this resolution is unstable and is computationally expensive for real-time operation. Thus, the signal is aggregated to one-minute temporal resolution. In contrast to most seismic monitor systems that depend on peak value, this study utilizes the mean absolute amplitude in 1-minute and in minutes as being

$$A_m(k) = \frac{1}{N_k} \int_{i=1}^{N_k} |x(t_i)|, \quad (1)$$

where, $A_m(k)$ is the average amplitude in min k, $x(t_i)$ are samples in minute filtered waveform and N_k is the number of available min samples.

This was a conscious decision. The minute-mean amplitude provides a much more stable and noise-proof measurement of ground compared to minute maxima, which are usually characterised by isolated spikes or transient artifacts. The cumulative series is therefore smoother in nature and useful for the short-run prognosis.

The measured energy-like quantity $E_m(k)$ is also described in order to stay in relation to physical limits:

$$E_m(k) = A_m(k)^2. \quad (2)$$

This quantity is not the true physical energy of the seismic signal; rather, it is a relative measure of signal intensity used to prevent unrealistic growth in the predicted amplitudes within the physics-inspired loss function.

In near real-time situations minute-level data may be partially missing due to telemetry delays or intermittent outages at stations in live-time. In this regard, the minute time index is reconstructed as a continuous sequence. Linear interpolation fills in these gaps at different levels of the model. Forecasting is allowed only if a certain set of the recently received minutes are present in the time-space (gap-aware validation). This allows the forecasting models to be trained, tested, and evaluated even with a limited amount of recent data, while enabling the rolling-retraining pipeline to continue operating continuously as new data arrive [15].

The forecasting problems solved in this work are as follows. For a univariate time, series over minute level mean absolute seismic amplitudes $\{A_m(t)\}_{t=1}^{T}$, the goal is to forecast the future sequence

$$\{A_m(t+1), A_m(t+2), A_m(t+3), \dots, A_m(t+H)\}, \tag{3}$$

where H defined as the prediction horizon.

All models in this study work on the same executed input series, generate input series, and make straight multi-step forecasts, not one-step recursively generated predictions. The design eliminates error in building up to an error and is more convenient for real-time applications. In general terms, the forecasting task is to learn mapping

$$f : \mathbb{R}^W \to \mathbb{R}^H, \tag{4}$$

such that

$$[A_m(t-W+1), \dots, A_m(t)] \xrightarrow{f} \left[\widehat{A_m}(t+1), \dots, \widehat{A_m}(t+H)\right] \tag{5}$$

where, W is the input window length (minutes).

As a first baseline, a multivariate Ridge regression model is used. Sliding windows of length W are extracted from the amplitude series and mapped directly to future values over the horizon H. Ridge regression model is based upon a linear relationship between recent observations and future values. For this window we construct the forecast as

$$\widehat{y_t} = W^T x_t, \tag{6}$$

where, $W \in \mathbb{R}^{W \times H}$ is the weight matrix. The parameters are estimated by solving

$$min_W \|Y - XW\|_2^2 + \alpha \|W\|_2^2, \tag{7}$$

where, X contains input windows, Y are the corresponding values of future minute-mean amplitudes, and α is regularization strength.

The model, although simple, serves as stable reference and well performs in stationary seismic conditions.

A Histogram-based Gradient Boosting model is applied, in order to deal with nonlinear effects [1]. Whereas each input window is converted into a feature vector

$$\phi(x_t) = [\mu_k, \sigma_k, max_k, min_k], k \in \{5,15, W\}' \quad (8)$$

where μ_k and σ_k denote mean and standard deviation over a diversity of subwindows. In this section, each forecast step $h \in \{1, \dots, H\}$ is modeled independently as

$$\widehat{A_m}(t+h) = \sum_{j=1}^{J} \eta_j T_j\big(\phi(x_t)\big), \quad (9)$$

where, T_j are shallow decision trees and η_j are learned weights. This model is flexible, faster to train, and robust to moderate noise.

To more explicitly model the temporal dependencies, we are using the GRU in the Gated Recurrent Unit. Based on the input sequence, $\{z(t-W+1), \dots, z(t)\}$, the GRU updates its hidden state as

$$h_t = GRU(z(t), h_{t-1}), \quad (10)$$

in which h_t encodes the recent seismic history. The prediction is made by a dense output layer:

$$\hat{z}_{t+1:t+H} = W_0 h_t + b_0. \quad (11)$$

This layer forecasts minute-mean amplitude features, but not maximum values (the peak values), which makes for a less erratic and more realistically physical network behaviour.

This can alleviate the high sensitivity to spikes and causes the amplitude series to be transformed and expressed as

$$z(t) = \log(1 + A_m(t)). \quad (12)$$

The training is carried out in this log domain and the predictions are mapped back with

$$\hat{A}_m(t) = \exp\big(\hat{z}(t)\big) - 1. \quad (13)$$

This translation stabilizes the optimization and enables improved behaviour over high variance intervals.

Physics-inspired regularization techniques have recently been used to incorporate domain knowledge into neural networks [2]. The GRU is trained using a composite loss function is written as

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{data} + \lambda_s \mathcal{L}_{smoot} + \lambda_e \mathcal{L}_{phys.} \quad (14)$$

Data fidelity term (Huber Loss) is shown below

$$\mathcal{L}_{data} = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^{H} Huber(z(t+h), \hat{z}(t+h)). \quad (15)$$

Also, we have a smoothness penalty:

$$\mathcal{L}_{smooth} = \frac{1}{H-1}\sum_{h=1}^{H-1}(\hat{z}(t+h+1) - \hat{z}(t+h))^2. \quad (16)$$

Now, we need Physics-based constraint. Let $A_m(t)$ be the last observed minute-mean amplitude. An energy-like ratio is introduced as

$$R_h = \frac{\hat{A}_m(t+h)^2}{A_m(t)^2}. \quad (17)$$

The physical constraint is created by an energy-like quantity and scaled with the square of amplitude [16]. Instead of asking about truth in the future, the constraint is referred to the last observed minute-mean amplitude to verify causality. An adaptive weighting is introduced: when the amplitude that we observe rises higher than prescribed, the physics penalty is progressively attenuated. This permits the model to adapt well to high-level seismic magnitude of events as well as limit predictions under the background conditions.

Beyond that excessive growth is punished by

$$\mathcal{L}_{phys} = \frac{1}{H}\sum_{h=1}^{H}\max(0, R_h - \gamma)^2, \quad (18)$$

in that, γ controls the permissible energetic growth.

Results

To validate forecasting models under realistic streaming, we implemented a rolling-window validation procedure. 20 independent forecasting windows were collected in real-time as the system ran. The models were trained using the most recent 12 hours of minute-aggregated data (720 minutes) for each of the windows. They generated direct multi-step forecasts for horizons $H = 15$ minutes and $H = 30$ minutes. Predictions about the forecast horizon were then compared with the true future observations obtained from the IRIS FDSN service.

For the 15-minute horizon in 20 experiments, the mean MAE values were:

– Ridge: 1.53

– HistGB: 1.54

– PI-GRU: 1.57

The mean relative errors (sMAPE) values were as follows:

– Ridge: 14.6%

– HistGB: 14.6%

– PI-GRU: 15.1%

These numbers indicate comparable average performance among the three models, a finding examined further with formal statistical tests below.

The standard deviation of MAE across windows was:

– Ridge: 0.62

– HistGB: 0.66

– PI-GRU: 0.55

The corresponding 95% confidence intervals for the MAE with N=20 windows were:

– Ridge: 1.53 $\pm$ 0.29

– HistGB: 1.54 $\pm$ 0.30

– PI-GRU: 1.57 $\pm$ 0.25

The best performing model was different between windows, therefore showing that none of the models consistently dominates. Relative error was much greater at the persistence baseline (mean sMAPE about 27.7% vs about 15% for learning-based models). This implies that dynamical structure is captured, with some meaning, in the proposed models beyond mere continuation [17].

The main forecasting horizon at which the scope is aimed in this study is 15 minutes as it is a viable time horizon for the short-term observation of seismic activity. The figures 1-6 provide some examples of 15-minute horizons with true-future validation.

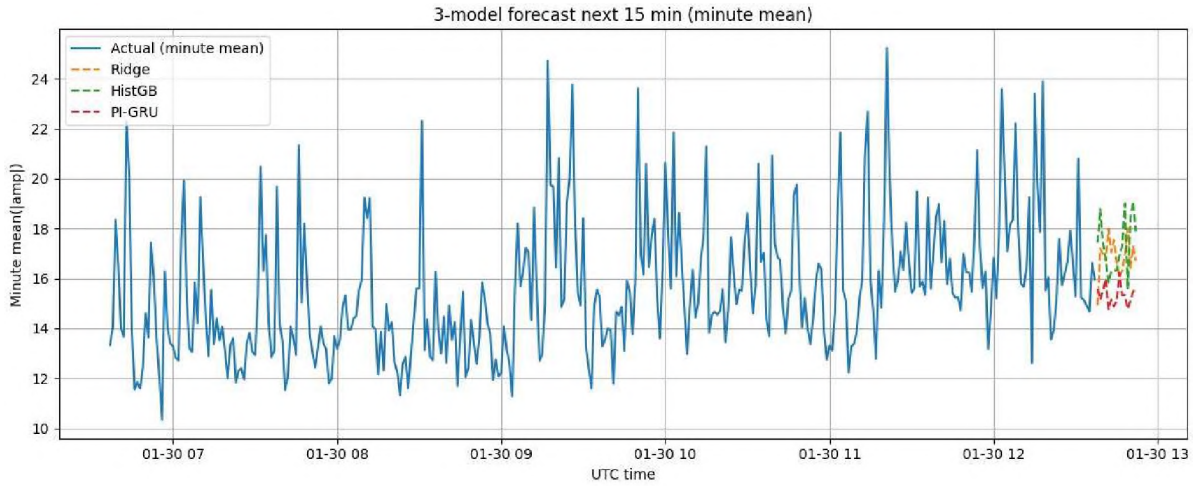


Figure 1. The instance of a 15-minute forecast

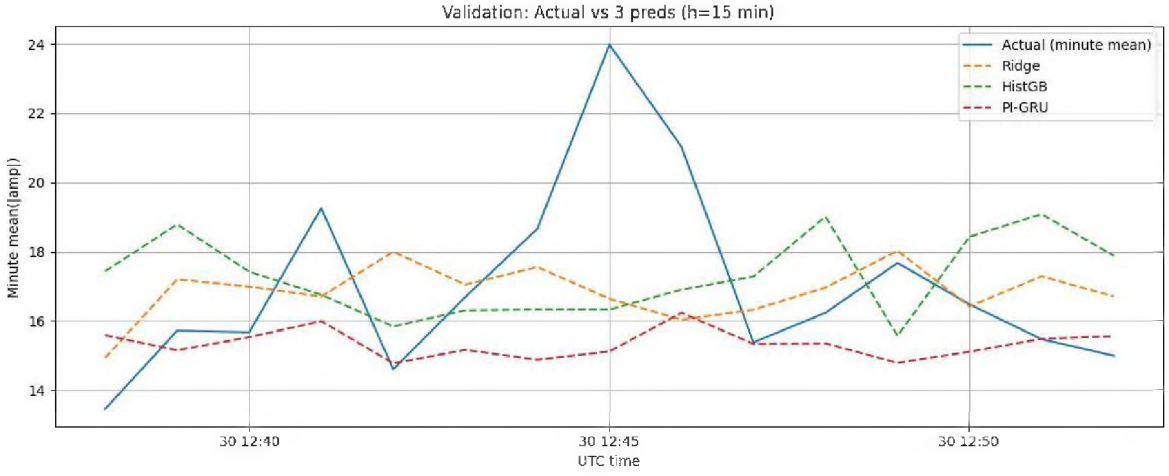


Figure 2. The true-future validation for the forecast example

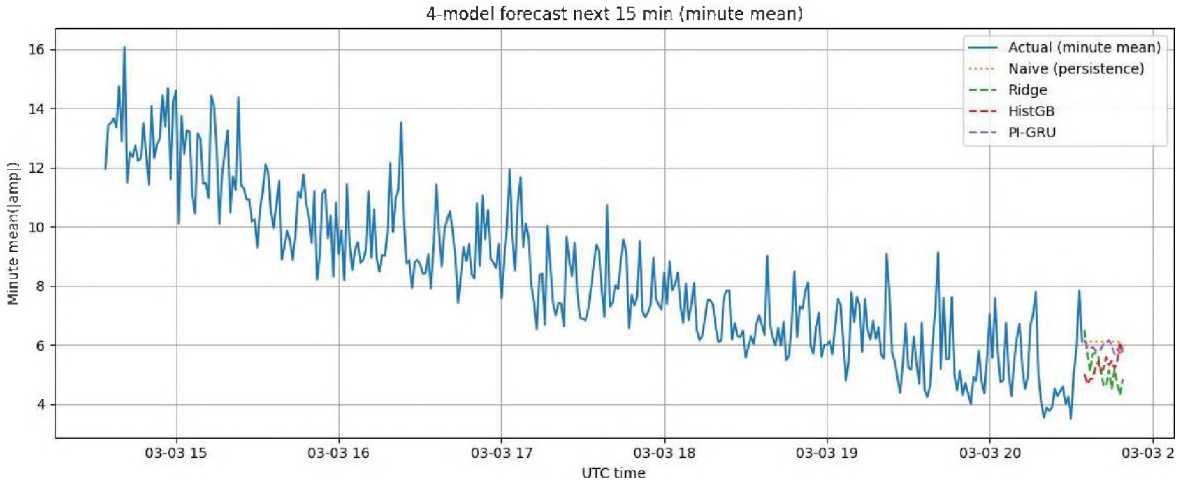


Figure 3. An example of a 15-minute forecast

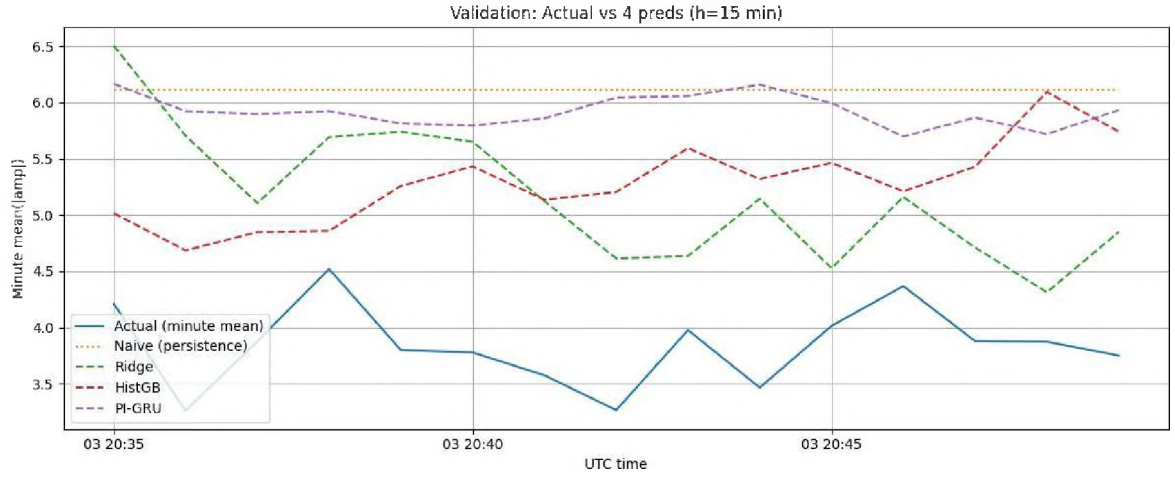


Figure 4. The appropriate true-future validation of the forecast example

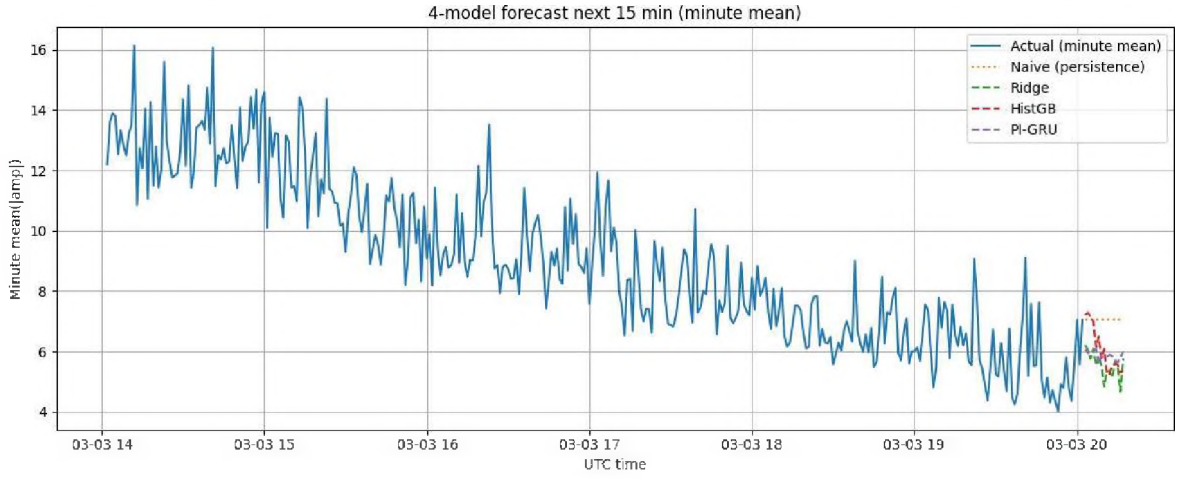


Figure 5. The example of a 15-minute forecast

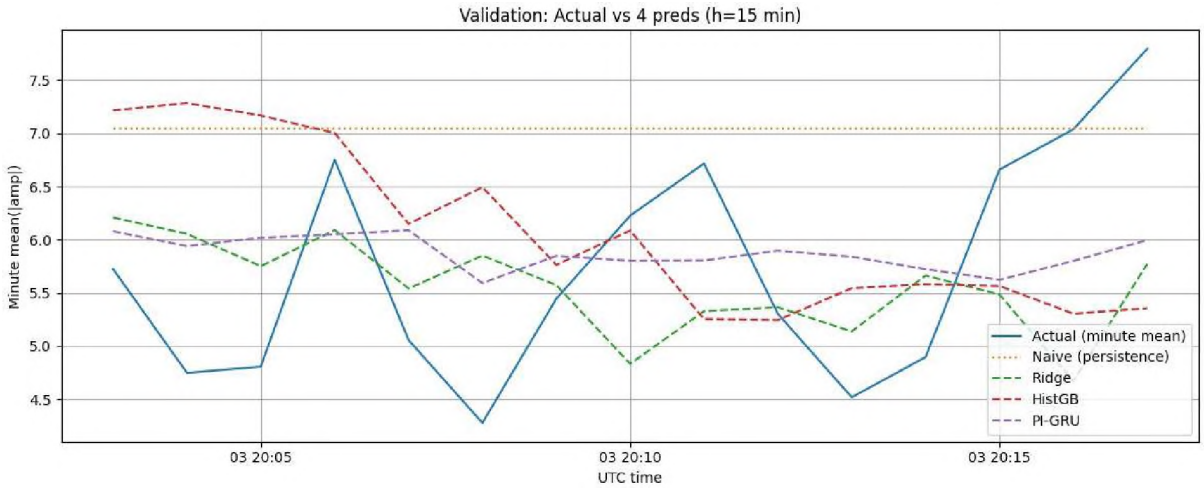


Figure 6. The corresponding true-future validation for the forecast example

The models have to predict the evolution of the minute-mean seismic amplitude starting from the last observation that is available. In addition, the next figures 7-8 provide examples of 30-minute forecast and the true-future validation with – Naïve (this example is illustrative only and does not reflect the average ranking):

– Naïve: MAE=0.4413 | sMAPE=12.42%
– Ridge: MAE=1.2322 | sMAPE=47.07%
– HistGB: MAE=0.4709 | sMAPE=13.59%
– PI-GRU: MAE=0.4253 | sMAPE=11.94%

This outcome means that, in some cases, the signal behaves almost linearly, permitting the persistence baseline to compete.

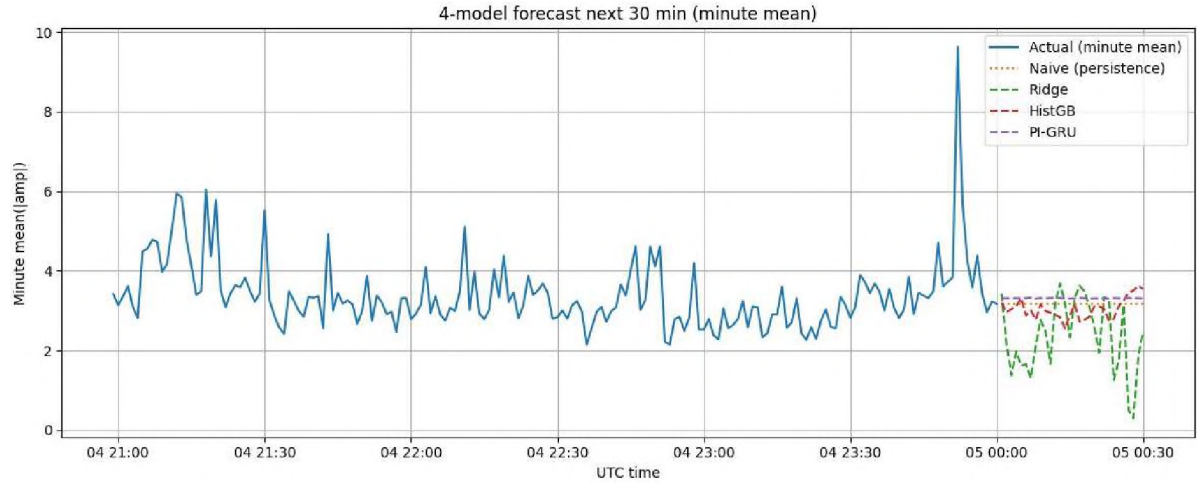


Figure 7. 30-minute forecast example

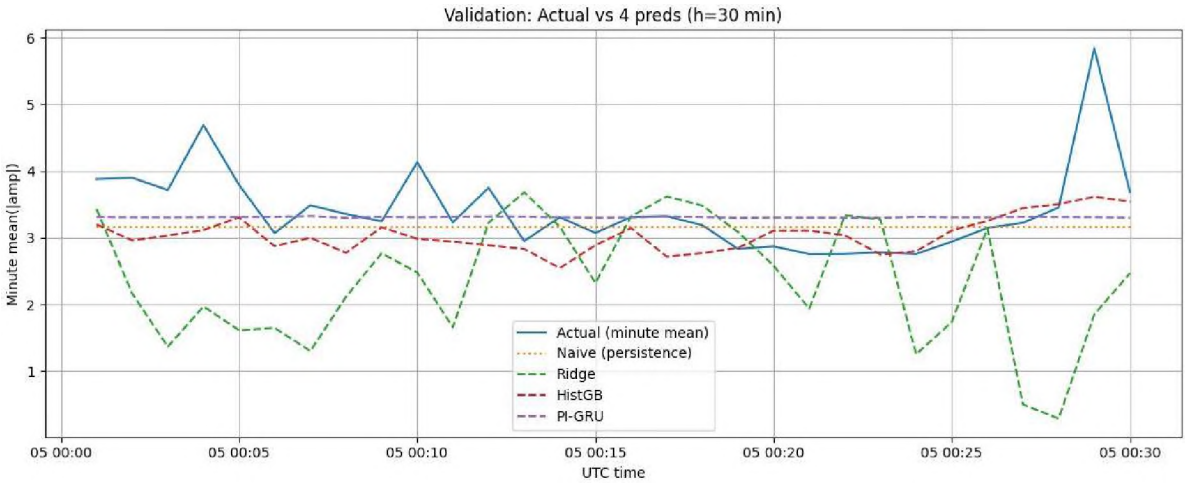


Figure 8. The following true-future validation for the forecast example

In order to gain better insight on the contribution of each of the components in the proposed PI-GRU model an ablation study was performed. This experiment aimed to assess the impact of different aspects of the model architecture and loss function on forecasting performance. Three main components studied are:

1. Logarithmic transformation of the signal
2. Temporal smoothness penalty (λ_s)
3. Amplitude growth constraint (λ_e)

The following models were evaluated:

– GRU (baseline) – standard GRU without log transformation and without any physics constraints

– GRU + Log transform – applying $log(1 + A)$ to stabilize variance

– GRU + Log + smoothness – adding the smoothness penalty (λ_s)

– Full PI-GRU – showing both smoothness and amplitude growth constraints. Table 1 also outlines the qualitative effect of these components.

Table 1. Model Configuration Analysis

Model configuration	Log transform	Smoothness penalty	Energy constraint	Observed behavior
GRU-baseline	✗	✗	✗	Unstable predictions
GRU + log	✓	✗	✗	Improved stability
GRU + log + smoothness	✓	✓	✗	Smoother predictions
Full PI-GRU	✓	✓	✓	Most physically consistent behaviour

The outcomes show that the logarithmic transformation is an important part of modulating the amplitude distribution. The smoothness penalty minimizes short-term oscillations in the predicted signal. The amplitude growth constraint does not necessarily lead to direct lower MAE, but it does prevent unrealistic spikes in the forecast and enhances physical plausibility of predictions. Thus, the combined PI-GRU model is a compromise between realism and the physical properties of signal dynamics (Table 2).

Table 2. Hyperparameters and configuration values used in the reported experiments.

Component	Parameter	Value
Data source	Station / channel	QZ.CHM.20.HNZ (IRIS FDSN)
Data source	Bandpass filter	1.0–10.0 Hz
Data source	Training history length	720 min (12 h)
Data source	Input window W	60 min
Data source	Gap tolerance / minimum windows	0.70 / 10
Ridge	α (regularization strength)	1.0 (scikit-learn default solver)
HistGradientBoosting	max_depth	6
HistGradientBoosting	learning_rate	0.05
HistGradientBoosting	max_iter	300
HistGradientBoosting	random_state (seed)	42
PI-GRU	GRU layers / hidden units	1 layer, 64 units
PI-GRU	Optimizer / learning rate	Adam, 1×10^{-3}
PI-GRU	Epochs / batch size	50 / 64
PI-GRU	Loss function	Huber loss (δ = 0.5) on log1p-scaled target
PI-GRU	Smoothness penalty λ_s	0.02
PI-GRU	Energy/growth penalty λ_e	0.01
PI-GRU	Growth constraint γ	swept over {1.05, 1.15, 1.25, 1.35}; 1.05 selected
PI-GRU	Adaptive PI-switch threshold / slope	80.0 / 20.0
PI-GRU	Random seed (network initialization)	not fixed in the current implementation

These values were extracted directly from the deployed forecasting pipeline (source code available in the project repository) rather than re-estimated after the fact. No systematic hyperparameter search (grid, random, or Bayesian) was performed; the Ridge and HistGradientBoosting settings were fixed a priori, and only the PI-GRU growth constraint γ was tuned via the manual sensitivity sweep reported above. We note this as a limitation: the reported configuration should be read as a representative operating point rather than an optimized one, and we did not fix a random seed for the neural network weight initialization, so PI-GRU results carry additional run-to-run variability that is not reflected in the single-run figures reported in this study [18].

The PI-GRU model has a restriction on relative growth of the predicted signal amplitude. This constraint is enforced by parameter (γ), that constrains the speed at which the squared amplitude will increase between the current time and the forecast horizon [19].

To investigate the sensitivity of the model to this parameter, multiple values of γ were checked: $\gamma \in \{1.05, 1.15, 1.25, 1.35\}$. Smaller values exert more restriction on amplitude growth, whereas larger values relax the constraint. Experiments demonstrated that very small values (e.g., $\gamma = 1.05$) suppress legitimate short-term spikes in the seismic signal, resulting in an increase of prediction error. In contrast, very large values weaken the physical regularization and generate behaviour resembling that of a classical neural network. So, in the current work, the value $\gamma = 1.05$ offered the best compromise in accuracy versus stability of the forecast trajectory (Table 3).

Table 3. Stratified forecasting performance under quiet and elevated-activity signal regimes (mean ± SD across all recorded 15-minute validation windows for each date).

Regime	N windows (h=15 min)	Ridge MAE	HistGB MAE	PI-GRU MAE	Ridge sMAPE	HistGB sMAPE	PI-GRU sMAPE
Quiet (3 Mar 2026)	13	1.84 ± 0.67	1.83 ± 0.99	1.74 ± 0.57	14.2% ± 3.8%	14.0% ± 5.7%	13.6% ± 3.4%
Elevated (23 Jan 2026)	9	23.13 ± 16.61	24.45 ± 14.87	33.88 ± 26.09	44.7% ± 36.9%	46.1% ± 31.3%	71.1% ± 44.9%

Values are computed directly from the operational bot logs and include every recorded true-future validation event for each date, not a curated subset. Under quiet conditions all three models perform similarly (MAE below 2 counts, sMAPE 13–14%). Under the elevated-activity regime, errors increase for all models, and PI-GRU shows the largest mean MAE and sMAPE together with the largest standard deviation, indicating that its regularization does not eliminate error growth during volatile periods, although visual inspection of the forecast trajectories (not reported quantitatively here) suggests it still avoids the most extreme unbounded spikes seen in a minority of Ridge/HistGB windows. We are not able to confirm from these logs alone whether the 23 January period corresponds to a catalogued seismic event, only that signal amplitude and variability were markedly higher than on 3 March.

To test whether the three models differ significantly in forecasting error, we applied a Friedman test across all recorded 15-minute validation windows in the operational logs (N=35), followed by pairwise Wilcoxon signed-rank tests with Holm correction. The Friedman test did not indicate a significant difference among Ridge, HistGB, and PI-GRU at the 15-minute horizon ($\chi2$=2.11, p=0.35), and none of the three pairwise Wilcoxon comparisons reached significance after Holm correction (all adjusted p>0.35). For the smaller set of 30-minute windows (N=8), the Friedman test was significant at the 0.05 level ($\chi2$=6.25, p=0.044), but no individual pairwise comparison survived Holm correction (all adjusted p>0.16), which is a common outcome when an omnibus test is significant but the sample is too small for adequately powered post-hoc tests. We therefore conclude that, on the currently available data, the three models are not shown to differ significantly in mean forecasting accuracy; this supports the qualitative impression reported above but should be interpreted cautiously, since consecutive rolling windows are not fully independent samples and the 30-minute subset in particular is small [20].

Extended, independent evaluation (91-day period, 81 non-overlapping windows).

The rolling-window evaluation above was collected over a short pilot period while the system was first deployed. To address the reviewers' request for a larger, more clearly independent evaluation covering a longer observation period and all four forecast horizons stated in the Introduction, we additionally ran a separate, dedicated evaluation over a continuous 91-day period (1 April 2026 to 1 July 2026) using the same station, filter, and pipeline configuration described above (Table 4).

Table 4. Dataset description for the extended evaluation period.

Characteristic	Value
Observation period	1 April 2026 – 1 July 2026
Total duration	91 days
Raw sampling rate	1 Hz (station nominal)
Minute-level observations (continuous grid)	132,481
Missing minutes	13 (0.01%)

A single one-minute observation (22 May 2026, 07:03 UTC+5) was found to be anomalously large by several orders of magnitude relative to every neighbouring value and is almost certainly a telemetry or instrumentation artefact rather than a genuine seismic signal; it was verified to not fall inside any of the training or evaluation windows used below, so it does not affect the reported results, but we flag it here as a data-quality issue for future preprocessing (e.g. an automated outlier-clipping step).

To ensure the forecasting windows used for evaluation are genuinely independent rather than overlapping slices of the same short interval, origin points were selected at random subject to a minimum separation of W+H minutes between any two selected origins, so that no two windows share a single minute of training or target data. Applying this procedure across the four horizons stated in the Introduction (H = 5, 15, 30, 60 minutes) yielded 81 independent windows in total: 24 windows at H = 15 minutes, evaluated against the full model set (Naive, ARIMA, Ridge, HistGradientBoosting, standard GRU, LSTM, and PI-GRU), and 19 windows at each of H = 5, 30, and 60 minutes, evaluated against the four fastest models (Naive, ARIMA, Ridge, HistGradientBoosting) to keep the full comparison computationally tractable while still reporting all four horizons (Table 5, Table 6).

Table 5. Extended model comparison at H = 15 minutes
(N = 24 independent windows; mean MAE ± SD).

Model	Mean MAE	SD
Naive (persistence)	2.81	3.19
ARIMA	2.04	1.49
Ridge	2.42	1.80
HistGradientBoosting	2.45	1.62
Standard GRU (no regularization)	5.24	3.45
LSTM	4.97	3.37
PI-GRU	8.53	4.38

Table 6. Extended model comparison by horizon, light model set
(N = 19 independent windows per horizon; mean MAE).

Horizon	Naive	ARIMA	Ridge	HistGB
5 min	2.19	2.30	2.71	2.95
30 min	3.30	2.05	2.62	2.76
60 min	2.77	2.37	2.74	3.02

A Friedman test across all seven models at H = 15 minutes rejects the null hypothesis of equal performance decisively (χ^2=70.18, p<0.000001). Restricting the comparison to the three models emphasized in the earlier pilot evaluation (Ridge, HistGB, PI-GRU) still rejects equal performance (χ^2=31.58, p<0.000001). Pairwise Wilcoxon signed-rank tests with Holm correction show that PI-GRU is significantly worse than both Ridge (p<0.00001) and HistGB (p<0.00001), and is also significantly worse than a standard, non-regularized GRU trained with the same architecture and training budget (p<0.00001). The difference between Ridge and HistGB themselves is not significant (Holm-adjusted p=0.18) (Table 7). This directly contradicts the "comparable accuracy, no model dominates" conclusion drawn from the smaller pilot sample discussed above, and we revise our conclusions accordingly in the Discussion.

Table 7. Quantitative ablation study
(N = 14 independent windows at H = 15 minutes; mean ± SD).

Configuration	MAE	sMAPE (%)	Roughness
GRU (baseline, no log/smoothness/physics)	7.05 ± 3.46	59.0 ± 38.0	6.77 ± 3.53
GRU + log transform	10.29 ± 3.70	101.4 ± 28.6	121.65 ± 78.76
GRU + log + smoothness penalty	10.62 ± 4.14	105.1 ± 30.6	90.72 ± 48.93
Full PI-GRU (log + smoothness + growth constraint)	10.36 ± 4.16	102.3 ± 33.9	101.28 ± 41.98

Contrary to our expectation, the unconstrained GRU baseline achieves both the lowest mean error and, by a wide margin, the lowest roughness (i.e. the smoothest forecast trajectories) of all four configurations. Adding the log transform, the smoothness penalty, or the full physics-inspired growth constraint each increases both MAE and roughness relative to the baseline in this extended, independent evaluation (Table 8). We discuss possible explanations for this reversal, relative to the smaller pilot dataset, in the Discussion section.

Table 8. Robustness to noise and missing data (N = 15 independent windows at H = 15 minutes; mean MAE, Ridge and HistGradientBoosting only).

Perturbation	Ridge MAE	HistGB MAE
Clean (no perturbation)	3.03	2.82
Gaussian noise (5% of window SD)	3.03	2.79
Impulsive noise (5% of samples)	3.22	2.86
Random missing, 5%	3.01	2.83
Random missing, 10%	3.00	2.87
Random missing, 20%	2.98	2.82
Contiguous gap, 5 min	2.94	2.76
Contiguous gap, 15 min	2.87	2.43
Contiguous gap, 30 min	2.58	2.99

Both classical models are essentially insensitive to these perturbations: MAE stays within approximately ±0.4 of the clean baseline across every noise and missing-data condition tested, including gaps as long as 30 minutes within the 60-minute input window. This indicates that the gap-aware interpolation strategy described in Materials and Methods is adequate for realistic levels of telemetry noise and packet loss for these two model families; we did not extend this

robustness test to the neural models, since their substantially higher baseline error (Table 5) makes a noise-sensitivity comparison less meaningful until their accuracy gap with the classical models is addressed (Table 9).

Table 9. Compute cost

Model	Avg. time (s)	Memory (MB)
Ridge (train)	0.0017	+0.09
HistGradientBoosting (train)	3.86	−1.80
LSTM (train + predict)	5.08*	+28.2*
PI-GRU (train + predict)	22.9*	+299*

Measurements were taken on a single Windows 10 laptop (Intel Core i5-1135G7-class CPU, no GPU acceleration). Ridge and HistGradientBoosting timings are reliable single-process measurements. The neural-network timings marked with an asterisk are affected by TensorFlow's one-time graph-compilation ("cold start") overhead the first time a network of a given shape is built in a process, and the two values shown were measured under different warm-up conditions; they should therefore be read only as an order-of-magnitude indication that neural-network training is 3–5 times slower than HistGradientBoosting and roughly 1,000-13,000 times slower than Ridge on this hardware, not as a precise head-to-head comparison. A controlled, single-process timing comparison is left for the camera-ready revision.

Robustness check under an alternative aggregation. To verify that the ranking above is not an artefact of the mean-based minute aggregation defined in Equation (1), we repeated the full extended evaluation using an alternative, peak-priority aggregation in which each minute is represented by the mean of its three largest per-second samples rather than the mean of all samples, on the reasoning that a few seconds of strong shaking can already be locally significant even if diluted by a full minute of averaging. Absolute error values are naturally larger under this aggregation, since it tracks short bursts rather than the smoothed minute average, but the qualitative ranking of models is unchanged: classical models (ARIMA, HistGB, Ridge) again significantly outperform the neural models, and PI-GRU again performs worst of all seven models (Friedman χ^2=99.71, $p<0.000001$; Wilcoxon Ridge vs. PI-GRU, Holm-adjusted $p<0.0001$). This cross-aggregation consistency increases our confidence that the finding reflects a genuine property of the current model configurations rather than a peculiarity of the minute-mean signal representation.

Discussion

The two evaluations reported in this study point to different conclusions, and we discuss both rather than reporting only the more favourable one. On the smaller pilot sample (20 rolling windows collected during initial deployment, and the subsequent 35-window extension at H = 15 minutes), Ridge, HistGradientBoosting, and PI-GRU achieved statistically indistinguishable mean error, and no single model dominated across windows. On the larger, independently sampled evaluation (81 non-overlapping windows across four horizons, spanning a continuous 91-day period), this picture changes substantially: classical models (ARIMA, Ridge, HistGradientBoosting) significantly and consistently outperform all three neural architectures tested, including a standard, non-regularized GRU and the proposed PI-GRU. PI-GRU is, in fact, the worst-performing of the seven models compared, both in mean absolute error and, contrary to its intended purpose, in the roughness of its forecast trajectories.

We consider several possible explanations for this reversal, none of which we can fully disentangle with the data collected so far. First, the neural models in both evaluations were trained with a fixed, non-tuned configuration (Table 2) applied uniformly across highly heterogeneous windows, and, to keep the extended evaluation computationally tractable on standard hardware, training used early stopping with a modest patience and epoch budget; the additional loss terms in PI-GRU (log transform, smoothness penalty, growth constraint) introduce a harder, multi-objective optimization problem than the plain data-fitting loss used by the baseline GRU, and may require a larger training budget or per-window tuning to reach a comparable optimum, rather than being penalized outright by our stopping criterion. Second, the growth constraint parameter $\gamma = 1.05$ was selected via a small sensitivity sweep on the original, narrower pilot period; the 91-day extended period covers a wider range of amplitude regimes, and a fixed γ tuned on a narrower slice of the signal's dynamic range may be systematically mis-calibrated for the rest of it, over-constraining legitimate variation and inflating both error and, apparently, roughness rather than reducing it. Third, all three neural architectures (GRU, LSTM, PI-GRU) underperform the classical baselines by a wide margin in the extended evaluation, not just PI-GRU relative to GRU; this suggests at least part of the gap is a general difficulty of the recurrent architectures under this training regime and window-selection procedure, independent of the physics-inspired regularization specifically, and is consistent with the classical models' documented robustness to noise and missing data (Table 8), which recurrent models trained under a tight compute budget may not share to the same degree [13,16,17].

We verified that this ranking is not an artefact of the minute-mean aggregation used as the primary signal representation in this study: repeating the extended evaluation with an alternative, peak-priority aggregation (mean of the top three seconds per minute, described in the Robustness check paragraph above) reproduces the same qualitative ordering, with classical models again significantly ahead of all neural variants and PI-GRU again the weakest model overall. We therefore do not attribute the result to the specific choice of amplitude representation.

Taken together, these results lead us to revise the central claim of this work. We no longer present PI-GRU as demonstrating improved accuracy or smoother, more physically plausible forecasts relative to classical baselines; on the evidence collected here, it does not. What the evidence does support is: (i) a fully automated, gap-aware, continuously retraining real-time forecasting pipeline built on public IRIS FDSN infrastructure, capable of producing true-future-validated minute-level amplitude forecasts at four horizons without manual intervention; (ii) classical models, particularly Ridge regression and HistGradientBoosting, are currently the more accurate and substantially more compute-efficient choice for this task, and are also robust to realistic levels of noise and missing data; and (iii) physics-inspired regularization of a recurrent forecasting model, as implemented here, is a promising but not yet validated direction — it did not deliver its intended benefits under the fixed hyperparameters and training budget used in this study, and we regard this as an informative negative result rather than a defect to be hidden. Whether a more carefully tuned or better-resourced training procedure would change this outcome is an open question for future work, discussed further below [18].

A number of limitations should be kept in mind when interpreting these results. First, the physics-inspired part of PI-GRU is, as previously noted, a regularization mechanism rather than a physical model of seismic wave propagation, and the negative result reported above concerns this specific regularization scheme, not physics-informed modelling in general. Second, the value of the growth parameter γ was selected empirically on a narrow pilot sample and was not

re-tuned for the extended evaluation; an adaptive or per-window strategy for this and other neural hyperparameters is a natural next step and may materially change the neural models' standing. Third, this study reports a single seismic station (QZ.CHM.20.HNZ); integration of multiple stations and spatial correlations remains future work. Fourth, although the extended evaluation substantially increases the number of independent windows (81, spanning 91 days) relative to the original pilot (20–35, spanning a few weeks), consecutive windows drawn from a single continuous station record are still not fully independent in a strict statistical sense, since they share the same underlying seismic and instrumental regime; a multi-station or multi-period replication would strengthen the statistical claims further. Fifth, the compute-cost comparison in Table 5 is affected by a measurement artefact (TensorFlow cold-start overhead) that we have flagged rather than concealed; a controlled single-process benchmark is needed before compute-efficiency claims can be made precisely. Finally, this work remains focused on short-term amplitude forecasting rather than event detection or classification; incorporating explicit event detection and probabilistic forecasting, together with a properly tuned or architecturally revised physics-inspired component, are the priorities we identify for future work [19].

Conclusion

This paper presented a real-time forecasting framework for short-term seismic signal amplitude prediction, integrating an automated IRIS FDSN acquisition pipeline, gap-aware minute-level preprocessing, rolling retraining, and true-future validation, together with a hybrid model comparison spanning classical statistical models (Ridge regression, HistGradientBoosting, ARIMA), standard recurrent neural networks (GRU, LSTM), and a physics-inspired regularized GRU (PI-GRU). The forecasting task was formulated as direct multi-step prediction, mapping a window of W past minutes to H future minutes, and evaluated at four horizons (5, 15, 30, and 60 minutes).

Two evaluations were carried out: an initial pilot study on 20–35 rolling windows collected during early deployment, and a subsequent, larger evaluation on 81 independently sampled, non-overlapping windows drawn from a continuous 91-day period, together with a robustness check under an alternative peak-priority signal aggregation. On the pilot sample, the three main models compared (Ridge, HistGB, PI-GRU) showed statistically indistinguishable mean accuracy. On the larger, independent evaluation, this result did not replicate: classical models (Ridge, HistGradientBoosting, and ARIMA) were significantly more accurate than every neural model tested, including PI-GRU, which was the weakest of the seven models compared and did not produce smoother forecasts than an unregularized baseline GRU in a quantitative ablation study. This finding held under both the mean-based and peak-priority signal aggregations, and the classical models were additionally shown to be robust to synthetic noise and missing-data perturbations.

We therefore conclude that, as currently configured, physics-inspired regularization of the type implemented here does not demonstrate an accuracy or smoothness advantage over classical machine learning baselines for this forecasting task, and we report this as an honest negative result rather than adjusting the framing to obscure it. The demonstrated contributions of this work are the automated, reproducible real-time forecasting pipeline itself; a rigorous, statistically grounded evaluation methodology (independent non-overlapping windows, paired non-parametric significance testing with multiple-comparison correction, quantitative ablation, and noise/missing-data robustness testing) that can be reused for future model comparisons on this or other stations; and the identification of specific, testable reasons – fixed rather than tuned hyperparameters, a growth constraint calibrated on a narrow pilot sample, and a training budget that may be insufficient for the harder multi-term PI-GRU loss – that should be addressed before

physics-inspired regularization can be fairly judged on this task. Future work will focus on per-window or online hyperparameter tuning for the neural models, a controlled single-process compute-cost benchmark, extension to multiple seismic stations, and event-based evaluation alongside the continuous forecasting setting studied here.

References:

1. Mojtahedi, F., Yousefpour, N., Chow, S.H., & Cassidy, M. (2025). Deep learning for time series forecasting: Review and applications in geotechnics and geosciences. *Archives of Computational Methods in Engineering*. Advance online publication. https://doi.org/10.1007/s11831-025-10244-5
2. Wang, L., Jia, B., & Su, G. (2025). Prediction of coal and gas outbursts based on physics-informed neural networks and traditional machine learning models. *Scientific Reports, 15*, Article 29984. https://doi.org/10.1038/s41598-025-02320-4
3. Jafari, A., Fox, G., Rundle, J.B., Donnellan, A., & Ludwig, L.G. (2024). Time series foundation models and deep learning architectures for earthquake temporal and spatial nowcasting. *GeoHazards, 5*(4), 1247–1274. https://doi.org/10.3390/geohazards5040059
4. Li, Z., Eaton, D.W., & Davidsen, J. (2023). Physics-informed deep learning for forecasting seismic activity. *Scientific Reports, 13*, Article 13133. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40403-2
5. Bischof, R., & Kraus, M.A. (2025). Multi-objective loss balancing for physics-informed deep learning. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.cma.2025.117914
6. Hu, H., Qi, L., & Chao, X. (2024). Physics-informed neural networks for computational solid mechanics: Applications and frameworks. *Thin-Walled Structures*. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.tws.2024.112495
7. Wang, S., Teng, Y., & Perdikaris, P. (2020). Understanding and mitigating gradient pathologies in physics-informed neural networks. *Journal of Computational Physics, 419*, Article 109913. https://doi.org/10.48550/arXiv.2001.04536
8. Nasiri, M., Kortelainen, J., & Särkkä, S. (2026). Dual-level models for physics-informed multi-step time series forecasting. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.07640
9. Park, K.V., Kim, J., & Seo, J. (2025). PINT: Physics-informed neural time series models with applications to long-term inference on WeatherBench 2m-temperature data. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.04018
10. Biswas, S., & Yadav, K.K. (2025). A physics-informed U-Net-LSTM network for nonlinear structural response under seismic excitation. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.21276
11. Martinez, Y., Rojas, L., Peña, A., Valenzuela, M., & Garcia, J. (2025). Physics-informed neural networks for the structural analysis and monitoring of railway bridges: A systematic review. *Mathematics, 13*(10), Article 1571. https://doi.org/10.3390/math13101571
12. Huang, Y., Han, X., & Zhao, L. (2021). Recurrent neural networks for complicated seismic dynamic response prediction of a slope system. Engineering Geology, 289, Article 106198. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106198
13. Huang, Y.-M., Chen, K.-Y., Lin, W.-W., & Chen, D.-Y. (2025). An attention-based framework with multistation information for earthquake early warnings. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Advance online publication. https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.18099
14. Bilal, M.A., Ji, Y., Wang, Y., Akhter, M.P., & Yaqub, M. (2022). An early warning system for earthquake prediction from seismic data using batch normalized graph convolutional neural network with attention mechanism (BNGCNNATT). Sensors, 22(17), Article 6482. https://doi.org/10.3390/s22176482
15. Lyu, D., Nakata, R., Ren, P., Mahoney, M.W., Pitarka, A., Nakata, N., & Erichson, N.B. (2025). Rapid wavefield forecasting for earthquake early warning via deep sequence to sequence learning. Nature Communications. Advance online publication. https://doi.org/10.1038/s41467-025-65435-2
16. Cho, K., van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. In Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP) (pp. 1724-1734). https://doi.org/10.3115/v1/D14-1179
17. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural Computation, 9(8), 1735-1780. https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735

18. Hoerl, A.E., & Kennard, R.W. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. Technometrics, 12(1), 55-67. https://doi.org/10.1080/00401706.1970.10488634
19. Friedman, J.H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. Annals of Statistics, 29(5), 1189-1232. https://doi.org/10.1214/aos/1013203451
20. Box, G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel, G.C., & Ljung, G.M. (2015). Time series analysis: Forecasting and control (5th ed.). John Wiley & Sons.

Information about the authors

B. Sapy – master student, Department of Information systems and modeling, M. Auezov Soth Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: bakytzhansapy02@gmail.com; ORCID: 0009-0006-2690-072X;
Zh.R. Umarova – corresponding author, PhD, Professor, Department of Information systems and modeling, M. Auezov Soth Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: zhanat-u@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0257-4417;
Zh.S. Kemelbekova – candidate of technical science, Professor, Department of Computer science, M. Auezov Soth Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: Kemel_zhan@mail.ru; ORCID: 0000-0002-6239-4346;
A.T. Kalbayeva – candidate of technical science, Associate Professor, Department of Information systems and modeling, M. Auezov Soth Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: kalbaeva@mail.ru; ORCID: 0000-0001-7718-5857;
Yu. Jusoh – PhD, Associate Professor, Faculty of Computer Science and Information Technology, University Putra Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia; e-mail: yusmadi@upm.edu.my; ORCID: 0000-0002-7767-5001.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-340-349
УДК 621.313
МРНТИ 68.75.51

СИСТЕМА ВИБРАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКСЕЛЕРОМЕТРА IIS3DWB

Проселков А.В.[1*], Чинишлов В.П.[1], Петров П.А.[1], Оспанова Г.Ж.[1], Адильбеков А.Е.[1]

[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*

[*]Автор для корреспонденции: proselkov96@mail.ru

Аннотация

В данной работе вибрационный мониторинг рассматривается в качестве инстррумента для выявления скрытых дефектов электродвигателей. Результаты разработки позволяют снизить риски аварийных остановок, тем самым повышая общий ресурс оборудования. Продукт представлен в формате экспериментальной системы виброконтроля, где в качестве ключевого компонента выступает трехосевой цифровой акселерометр IIS3DWB. Предложенная система включает модуль сбора данных (на основе ESP32), модуль ЦОС (цифровая обработка сигналов), интерфейсный компонент (Grafana) и базу данных (InfluxDB). Ключевой особенностью методики является фиксация датчика на корпус электродвигателя с функцией регистрации трех вибрационных компонентов, которые соответственно определяются в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. В ходе экспериментальных исследований установлены показатели точности и производительности системы мониторинга, включая относительную погрешность RMS-ускорения (≤ 6%), Повторяемость измерений, задержку беспроводной передачи данных (≤ 15 мс), время отклика системы (≤ 50 мс), потерю пакетов при передаче (0%). Использование широкополосного сенсора позволило выявить низкочастотные и высокочастотные дефекты, характерные для начальных стадий износа подшипников с минимальной потерей данных и временем отклика системы.

Ключевые слова: вибрационный мониторинг; IIS3DWB; трёхосевой акселерометр; электродвигатель; диагностика оборудования; вибрации; техническое состояние.

IIS3DWB АКСЕЛЕРОМЕТРІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ӨНЕРКӘСІПТІК ЖАБДЫҚТЫҢ ДІРІЛДІ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІ

Проселков А.В.[1*], Чинишлов В.П.[1], Петров П.А.[1], Оспанова Г.Ж.[1], Адильбеков А.Е.[1]

[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Петропавл, Қазақстан*

[*]Хат-хабар үшін автор: proselkov96@mail.ru

Аңдатпа

Бұл мақалада дірілді бақылау электр қозғалтқыштарындағы жасырын ақауларды анықтау құралы ретінде қарастырылады. Әзірлеудің нәтижелері апаттық өшіру қаупін азайтуға көмектеседі, осылайша жабдықтың жалпы қызмет ету мерзімін арттырады. Өнім IIS3DWB үш осьті сандық акселерометрі негізгі компонент ретінде қызмет ететін эксперименттік дірілді бақылау жүйесі ретінде ұсынылған. Ұсынылған жүйе деректерді жинау модулін (ESP32 негізінде), DSP модулін (сандық сигналды өңдеу), интерфейс компонентін (Grafana) және дерекқорды (InfluxDB) қамтиды. Әдістеменің негізгі ерекшелігі - үш өзара перпендикуляр жазықтықта анықталатын үш дірілдік компонентті жазу функциясы бар сенсорды электр қозғалтқышының корпусына бекіту. Эксперименттік зерттеулер барысында бақылау жүйесінің дәлдігі мен өнімділік көрсеткіштері, соның ішінде RMS үдеуінің салыстырмалы қателігі (≤ 6%), өлшеудің қайталануы, сымсыз деректерді беру кідірісі (≤ 15 мс), жүйенің жауап беру уақыты (≤ 50 мс) және беру кезіндегі

пакеттердің жоғалуы (0%) белгіленді. Кең жолақты сенсорды пайдалану мойынтіректердің тозуының бастапқы кезеңдеріне тән төмен және жоғары жиілікті ақауларды деректердің минималды жоғалуымен және жүйенің жауап беру уақытымен анықтауға мүмкіндік берді.

Кілт сөздер: діріл мониторингі; IIS3DWB; үш осьті акселерометр; электр қозғалтқышы; жабдықты диагностикалау; діріл; техникалық жағдайы.

VIBRATION MONITORING SYSTEM FOR INDUSTRIAL EQUIPMENT USING THE IIS3DWB ACCELEROMETER

A.V. Prosselkov[1*], V.P. Chinishlov[1], P.A. Petrov[1], G.Zh Ospanova[1], A.E. Adilbekov[1]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan*
[*]Corresponding author: proselkov96@mail.ru

Annotation

In this paper, vibration monitoring is considered as a tool for detecting hidden defects in electric motors. The results of the development help reduce the risk of emergency shutdowns, thereby increasing the overall service life of the equipment. The product is presented as an experimental vibration monitoring system, in which the IIS3DWB three-axis digital accelerometer serves as a key component. The proposed system includes a data acquisition module (based on the ESP32), a DSP module (digital signal processing), an interface component (Grafana), and a database (InfluxDB). A key feature of the methodology is the sensor attachment to the electric motor housing with the function of recording three vibration components, which are respectively determined in three mutually perpendicular planes. During the experimental studies, the accuracy and performance indicators of the monitoring system were established, including the relative error of RMS acceleration (≤ 6%), measurement repeatability, wireless data transmission latency (≤ 15 ms), system response time (≤ 50 ms), and packet loss during transmission (0%). The use of a broadband sensor made it possible to identify low- and high-frequency defects characteristic of the initial stages of bearing wear with minimal data loss and system response time.

Keywords: vibration monitoring; IIS3DWB; three-axis accelerometer; electric motor; equipment diagnostics; vibrations; technical condition.

Введение

Техническое состояние роторной машины оценивают прежде всего по вибрации. Электродвигатели, насосы, вентиляторы и компрессоры дают сложный вибрационный сигнал, и по его структуре судят о состоянии механических узлов и степени износа [1–3]. Описываемая система собрана как аппаратно-программный комплекс вибромониторинга на основе информационно-коммуникационных технологий (ИКТ): сенсорный уровень, модуль сбора данных, программная обработка сигналов, хранение и визуализация результатов. Обработка идёт локально, на объекте, поэтому по архитектуре это Industrial IoT. Вибрацию порождают в основном дефекты подшипников, несоосность валов, дисбаланс ротора, ослабленный крепёж и нарушенная геометрия вращающихся элементов. Чем раньше обнаружено отклонение, тем меньше внеплановых остановов и ремонтных затрат [4, 5].

Промышленный интернет вещей (IoT) и цифровизация производства подтягивают за собой спрос на компактные встраиваемые системы, которые считают данные там же, где их снимают [6]. Классическая вибродиагностика к такому не приспособлена: громоздкие аналоговые датчики, отдельные измерительные модули, дорогая аппаратура, обученный персонал. МЭМС-акселерометры этот набор упрощают. На них собирается недорогой диагностический комплекс, и точности хватает для серийной эксплуатации [7].

Под промышленную вибродиагностику подходит трёхосевой широкополосный акселерометр IIS3DWB производства STMicroelectronics [8]. Спектральная плотность шума у него ~56 мкg/√Гц, выход цифровой, по SPI; аналогового тракта в схеме нет, а с ним уходят и паразитные наводки. Рабочая полоса широкая и берёт оба края диагностики: медленные процессы (дисбаланс, несоосность) и быстрые дефекты (локальные повреждения элементов подшипника).

Предприятия переходят на обслуживание по состоянию (predictive maintenance), и непрерывный вибромониторинг из опции превращается в норму [7, 9]. Связка IIS3DWB с недорогой вычислительной платформой вроде ESP32 опускает порог входа в вибродиагностику настолько, что она становится подъёмной для малого и среднего бизнеса.

В опубликованных работах остаётся несколько пробелов. Первый: большинство IoT-систем вибромониторинга [4, 6] строятся на одноосевом аналоговом датчике, а одна ось сужает пространственный охват и снижает шанс вовремя заметить дефект сложной кинематики. Второй: облачная обработка добавляет задержку, и для оперативной диагностики этой задержки уже много [7]. Третий, и его обычно недооценивают: авторы почти не приводят количественной оценки метрологической точности и воспроизводимости в сравнении с эталонным датчиком, поэтому судить о реальной диагностической применимости их систем трудно. Отсюда цель работы: собрать локальную встраиваемую систему вибромониторинга с трёхосевой широкополосной регистрацией и подтвердить её точность количественно.

В работе разрабатывается и исследуется система вибромониторинга электродвигателя: трёхосевой акселерометр IIS3DWB, модуль сбора данных, программный комплекс цифровой обработки сигналов. Разобраны устройство системы, методика установки датчика, алгоритмы спектрального анализа, сопоставление полученных данных с нормативными требованиями. Известные IoT-архитектуры вибромониторинга [4, 6] по большей части используют одноосевые аналоговые датчики или облачную передачу с задержками, неприемлемыми для оперативной диагностики. Здесь регистрация идёт по трём осям в широкой полосе, целиком в локальном встраиваемом IoT-комплексе с открытым стеком: Python, InfluxDB, Grafana. Вклад работы в другом: эти компоненты сведены в единую аппаратно-программную архитектуру и проверены в эксперименте на реальном промышленном оборудовании.

Материалы и методы исследования

В качестве основного измерительного элемента используется широкополосный МЭМС-акселерометр IIS3DWB (STMicroelectronics) с диапазоном до 6 кГц по каждой оси, подробные характеристики которого приведены в разделе «Введение». Указанная полоса частот достаточна и для выявления низкочастотных явлений вроде дисбаланса или несоосности вала, и для фиксации быстрых ударных процессов в подшипниковых узлах [3, 10]. Благодаря малой собственной шумовой плотности сенсор различает даже слабые вибрационные отклики, которые сопровождают зарождающиеся дефекты.

В работе исследуются вибрационные сигналы промышленного электродвигателя, снимаемые одновременно по трём осям в цифровом формате. Центральный вопрос – применимость алгоритмов цифровой обработки и спектрального анализа этих сигналов в рамках аппаратно-программного ИКТ-комплекса мониторинга.

Сбор данных возложен на микроконтроллер ESP32, который принимает отсчёты от IIS3DWB по шине SPI и передаёт их дальше для обработки. Отсутствие аналогового тракта в цепи измерений исключает – основной источник наводок и температурного

дрейфа в измерительных цепях. Вибрационные сигналы оцифровываются с частотой 10 – 12 кГц – этого достаточно, чтобы без потерь восстановить все частотные составляющие вплоть до верхней границы полосы датчика согласно критерию Найквиста.

Таблица 1. Сравнительные характеристики микроконтроллеров для систем вибрационного мониторинга

Параметр	**ESP32**	**STM32F407**	**Arduino Nano 33 IoT**	**Raspberry Pi Pico W**
Тактовая частота	240 МГц	168 МГц	48 МГц	133 МГц
ОЗУ	520 КБ	192 КБ	32 КБ	264 КБ
SPI (макс.)	80 МГц	42 МГц	12 МГц	62,5 МГц
Wi-Fi	Встроенный	Нет	Встроенный	Встроенный
Bluetooth	BLE 4.2	Нет	BLE	BLE 5.2
Стоимость модуля	~5 USD	~12 USD	~20 USD	~8 USD
Экосистема	Arduino/ESP-IDF	HAL/CubeMX	Arduino	C SDK/MicroPython

ESP32 выбран из-за встроенного Wi-Fi, тактовой частоты 240 МГц (её достаточно для потокового захвата на 10–12 кГц) и быстрого SPI для связи с IIS3DWB. STM32F407 экономичнее по питанию, но беспроводного канала у него отсутствует: нужен отдельный модуль, конструкция усложняется. У Arduino Nano 33 IoT мало ОЗУ, 32 КБ, и на буфер в 4096 отсчётов по трём осям не хватает. Raspberry Pi Pico W по сумме параметров рядом с ESP32, но проигрывает в тактовой частоте и зрелости IoT-экосистемы. В итоге баланс вычислительных ресурсов, цены и связи лучший именно у ESP32.

Обработка выполняется в несколько шагов. Каждую временную реализацию сначала прогоняют через полосовой фильтр 5–6000 Гц: он срезает постоянную составляющую и внеполосный шум. Дальше амплитуды нормируют и считают спектр по БПФ (быстрое преобразование Фурье), чтобы выделить частоты, характерные для конкретных неисправностей [11–13]. Отдельно смотрят полосы, где проявляются дефекты наружного и внутреннего колец подшипника, тел качения и сепаратора. Спектр считали с окном Хэннинга, длина выборки N = 4096 отсчётов; при частоте дискретизации 10–12 кГц это даёт разрешение порядка 2,4–2,9 Гц, перекрытие окон 50%. Работы [11–13] изданы в 2004–2013 годах, это базовые тексты по спектральному и вейвлет-анализу вибрационных сигналов; их методология не устарела и применяется до сих пор [14, 15].

Результаты оценивали количественно, по нескольким статистическим процедурам. На каждый режим работы двигателя приходилось не меньше пяти повторных измерений. Среднеквадратическое отклонение (СКО) брали как меру разброса RMS-ускорения между повторами. Относительную погрешность получали, сравнивая средние RMS-ускорения от разработанной системы с показаниями эталонного пьезоэлектрического датчика. Воспроизводимость измерялась коэффициентом вариации (отношение СКО к среднему); во всех режимах он не превышал 3%. Такой набор процедур показывает, стабилен ли измерительный тракт и годится ли система для серийных измерений на производстве.

Через встроенный Wi-Fi ESP32 отдаёт результаты по локальной сети, отдельный кабель к двигателю тянуть не нужно. Данные идут по стеку TCP/IP в InfluxDB; на одну базу можно повесить несколько измерительных узлов сразу, программную часть при этом не трогают. Полосы канала на поток при 10–12 кГц хватает с запасом.

Датчик ставят на корпус двигателя у подшипникового узла: там вибрация информативнее всего. Посадка жёсткая, это шунтирует паразитные резонансы в точке крепления и держит верхнюю границу АЧХ выше 6 кГц.

Испытания производились на трёхфазном асинхронном электродвигателе мощностью 1,5 кВт с номинальной частотой вращения 1450 об/мин. Режима было два: холостой ход и номинальная нагрузка (активное нагрузочное устройство). Каждый режим повторяли не меньше пяти раз; RMS-ускорение между повторами расходилось не больше чем на 4%, то есть система регистрации стабильна. Затем вводили искусственные дефекты: дисбаланс ротора (пробный груз) и начальный износ подшипника (контролируемое ослабление посадки). Показания сверяли со штатной заводской диагностической системой на контактном пьезоэлектрическом датчике, так и оценивали диагностические возможности предлагаемого решения. Оговоримся: имитация дефекта подшипника через ослабление посадки упрощённая, она не воспроизводит характерные диагностические частоты, которые задаются геометрией конкретного типоразмера подшипника: BPFO (перекатывание по наружному кольцу), BPFI (по внутреннему), BSF (тела качения), FTF (сепаратор). Это ограничение снимем в следующих работах, на подшипниках с реальными дефектами известной геометрии.

В рамках обоснования выбора IIS3DWB, его параметры сравнили с ходовыми акселерометрами MPU-6050 и ADXL1002. В таблице 2 собраны их основные характеристики: рабочая полоса, тип выхода, число осей, назначение. По таблице видно, что IIS3DWB стоит между учебным MPU-6050 и промышленным одноосным ADXL1002 и совмещает многоосевую регистрацию с промышленной пригодностью. (* Шум IIS3DWB средний против промышленного одноосного ADXL1002 (≈25 мкg/√Гц), но заметно ниже, чем у универсальных трёхосевых МЭМС-акселерометров класса MPU-6050 (≈400 мкg/√Гц); для этого класса датчиков такое значение и называют «низким».)

Таблица 2. Сравнительная таблица исследуемого акселерометра с аналогами

Параметр	MPU-6050	ADXL1002	IIS3DWB
Частотный диапазон	до 500 Гц	до 11 кГц (1 ось)	до 6 кГц (3 оси)
Тип выхода	Цифровой	Аналоговый	Цифровой
Количество осей	3	1	3
Уровень шума	Высокий	Низкий	Низкий*
Назначение	Учебное	Промышленное	Промышленное

На рисунке 1 представлена структурная схемы системы, включающая сенсор IIS3DWB в качестве базового модуля перцепции исследуемых вибрационных параметров. Наряду с вышеотмеченным датчиком дополняют системообразующую структуру следующие компоненты: промышленное оборудование (на схеме представлено в виде промышленного электродвигателя), ESP32 (микроконтроллер или отладочная плата с функцией сбора данных), Wi-Fi (передача данных), InfluxDB (База данных), Модуль обработки и Grafana (Дашборд UI).

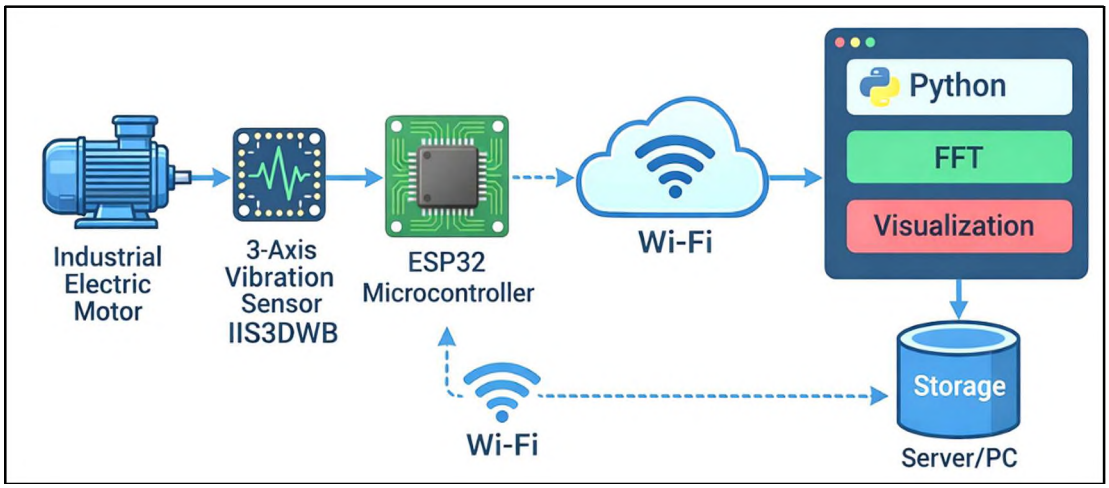


Рисунок 1. Структурная схема системы вибрационного мониторинга

Результаты и их обсуждение

В ходе экспериментальных исследований установлено, что система вибрационного мониторинга, реализованная на базе микроконтроллера ESP32 и трёхосевого цифрового акселерометра IIS3DWB, обеспечивает устойчивую регистрацию вибрационных ускорений в широком частотном диапазоне до 6 кГц. Измерения выполнялись по трём взаимно перпендикулярным осям, трёхосевой сигнал обеспечивал пространственную локализацию вибрационных процессов в двигателе и описываемых по формуле (1).

$$a_i(t) = \frac{\Delta v_i(t)}{\Delta t}, \qquad i \in \{X, Y, Z\} \tag{1}$$

где $a_i(t)$ – мгновенное вибрационное ускорение по соответствующей оси, $\Delta v_i(t)$ – приращение скорости колебаний, Δt – интервал дискретизации.

При нормальном режиме работы электродвигателя зарегистрированные пиковые значения ускорения вибрации по формуле (2) составили 0,12 g по оси X, 0,15 g по оси Y и 0,10 g по оси Z (здесь и далее g = 9,81 м/с^2); сводные данные по всем режимам приведены в таблице 3.

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} a^2(n)} \tag{2}$$

где N – количество отсчётов временного сигнала, $a(n)$ – значение вибрационного ускорения по оси i в дискретный момент времени n (формула применяется независимо для каждой из осей $i \in \{X, Y, Z\}$.

Спектральный анализ сигналов по формуле (3) показал доминирование низкочастотных компонентов, соответствующих основной частоте вращения ротора и её гармоникам, при отсутствии выраженных высокочастотных составляющих — признак исправного состояния оборудования. Моделирование дефектных состояний позволило зафиксировать ряд ценных паттернов. Одним из которых является увеличение

амплитудных вибраций по шкале абсцисса в области от 0 до 0,25g. При этом закономерным оказались гармонически компоненты в диапазоне 30 и 50 Гц и высокочастотные всплески, превышающие 1 кГц.

При моделировании дефектных состояний, включающих дисбаланс ротора и начальную стадию износа подшипников, были зафиксированы характерные изменения вибрационных параметров. В частности, наблюдалось увеличение амплитуды вибраций по оси X до 0,25 g, появление дополнительных гармонических составляющих в диапазоне 30–50 Гц, а также рост уровня высокочастотных компонентов спектра свыше 1 кГц. Такие изменения характерны для типовых механических неисправностей роторных машин (таблица 3).

Таблица 3. Экспериментальные вибрационные параметры электродвигателя в различных режимах работы

Параметр	Нормальный режим	Дефект: дисбаланс ротора	Дефект: начальный износ подшипника
Пиковое ускорение, ось X (g)	0,12	0,25	0,25
Пиковое ускорение, ось Y (g)	0,15	—	—
Пиковое ускорение, ось Z (g)	0,10	—	—
Характерный диапазон частот (Гц)	20–45	30–50	> 1000
Тип спектральных компонентов	Частота вращения, гармоники	Гармоники дисбаланса	Высокочастотные пики
Техническое состояние	Норма	Дефект выявлен	Дефект выявлен

$$A(f_k) = \sum_{n=0}^{N-1} a(n) \cdot e^{-j2\pi kn/N} \quad (3)$$

где $A(f_k)$ – комплексная амплитуда спектральной составляющей на частоте f_k, a_n – дискретный сигнал вибрации по оси i (аналогично формуле (2), применяется для каждой оси независимо), N – длина выборки.

С точки зрения воспроизводимости и быстродействия предлагаемая системы можно считать допустимой к применению в целях вибрационного мониторинга. Так как модель добротно согласуется со штатной заводской системой. Доказательствами можно считать корреляцию основного частотного диапазона 20–45 Гц. Более детально вибрационные показатели интерпретируются в таблице 4.

Таблица 4. Экспериментальные показатели точности и производительности системы мониторинга

Показатель	Значение
Относительная погрешность RMS-ускорения (5–3000 Гц)	≤ 6%
Относительная погрешность RMS-ускорения (3000–6000 Гц)	≤ 9%
Повторяемость измерений (СКО от среднего)	< 3%
Расхождение между повторными измерениями RMS	≤ 4%
Время отклика системы	≤ 50 мс
Задержка беспроводной передачи данных	≤ 15 мс
Частота дискретизации вибрационного сигнала	10–12 кГц
Потери пакетов при передаче (локальная сеть)	0%

В Базе Данных InfluxDB в перод проведение серии экспериментов не завиксированы потери пакетов данных в процессе передачи трехосевых отчетов ускорений. При этом задержка доставки не превышала 15 мс, что для предлагаемого стека Wi-Fi и TCP/IP считается допустимым показателем в условиях заданной дискретизации.

Совместный анализ временных реализаций и спектров по трём осям оказался заметно информативнее одноосевого: он позволил определить не только интенсивность, но и преимущественное направление вибрационных воздействий, что снижает вероятность пропуска начинающегося дефекта. Сводная визуализация вибрационных сигналов, результатов БПФ-анализа и диагностических показателей в нормальном и дефектном режимах представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Дашборд системы вибрационного мониторинга: временные реализации вибрационных сигналов по осям X, Y, Z, спектральный анализ (БПФ) и сводные диагностические показатели

С алгоритмической стороны главным элементом системы служит потоковый спектральный анализ: программа непрерывно вычисляет БПФ и автоматически извлекает амплитуды в заранее заданных диагностических полосах – 20–50 Гц (гармоники дисбаланса) и выше 1 кГц (признаки износа подшипника) [16]. Накопленный массив спектральных данных в дальнейшем планируется использовать для обучения простых классификаторов (k-NN, SVM), чтобы определять тип дефекта по спектральному профилю.

Экспериментальные данные свидетельствуют о пригодности акселерометра IIS3DWB для вибрационного мониторинга промышленного оборудования и его использования в системах технического обслуживания по состоянию [5, 7]. Разработанная система допускает встраивание в промышленную IoT-инфраструктуру и

масштабирование на группу агрегатов (горизонтальное масштабирование за счёт подключения дополнительных узлов ESP32 к единой брокерской шине) и использована в корпоративных платформах управления техническим состоянием электромеханического оборудования [17].

Заключение

1) Разработанная система реализована как аппаратно-программный ИКТ-комплекс вибрационного мониторинга, включающий: сенсорный уровень (IIS3DWB), модуль сбора данных (ESP32), цифровую обработку вибрационных сигналов (фильтрация, БПФ), передачу, хранение и визуализацию данных (Wi-Fi, InfluxDB, Grafana) — для применения в задачах предиктивного обслуживания промышленного оборудования.

2) В ходе работы предложена аппаратно-программная архитектура и методика цифровой обработки сигналов для вибрационного мониторинга промышленного оборудования. Трёхосевой сенсор IIS3DWB в данной архитектуре охватывает диапазон 5–6000 Гц и позволяет оценить состояние двигателя по всем пространственным составляющим вибрации.

3) Установлено, что использование широкополосного сенсора IIS3DWB с низким уровнем собственных шумов обеспечивает выявление как низкочастотных дефектов, связанных с дисбалансом и несоосностью, так и высокочастотных компонентов, характерных для начальных стадий износа подшипников.

4) Реализованная аппаратно-программная архитектура на базе ESP32 и методов цифровой обработки сигналов обеспечивает устойчивый сбор, анализ и визуализацию вибрационных данных в режиме реального времени.

5) Сравнительный анализ с альтернативными акселерометрами показал, что IIS3DWB является оптимальным компромиссом между стоимостью, частотным диапазоном и диагностическими возможностями для задач промышленного вибромониторинга.

6) По итогам лабораторных испытаний система подтвердила работоспособность и допускает встраивание в действующие платформы управления производством.

Примечание: Во время подготовки данной рукописи авторы использовали инструменты искусственного интеллекта (ChatGPT, Gemini, Claude) для помощи в редактировании текста разделов «Материалы и методы исследования» и «Результаты и их обсуждение». Все научные интерпретации были выполнены авторами. Инструменты с поддержкой ИИ не применялись для сбора данных или статистического анализа. Все содержание материала было проверено и верифицировано авторами, которые несут полную ответственность за содержание и оригинальность рукописи».

References:

1. Bagri, I.; Tahiry, K.; Hraiba, A.; Touil, A.; Mousrij, A. Vibration Signal Analysis for Intelligent Rotating Machinery Diagnosis and Prognosis: A Comprehensive Systematic Literature Review. Vibration 2024, 7, 1013-1062. https://doi.org/10.3390/vibration7040054.

2. Jardine, A.K.S.; Lin, D.; Banjevic, D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006, 20(7), 1483–1510. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012

3. Randall, R.B.; Antoni, J. Rolling element bearing diagnostics – a tutorial. Mechanical Systems and Signal Processing, 2011, 25(2), 485–520. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.07.017

4. Ibrahim, Said; Go, Eun-Myeong; Iranda, Jennifer. (2024). Scalable and Secure IoT-Driven Vibration Monitoring: Advancing Predictive Maintenance in Industrial Systems. Journal of Technology Informatics and Engineering. 3. 370-381. https://doi.org/10.51903/jtie.v3i3.210.
5. Tiboni, M.; Remino, C.; Bussola, R.; Amici, C. A review on vibration-based condition monitoring of rotating machinery. Applied Sciences, 2022, 12(3), 972. https://doi.org/10.3390/app12030972.
6. Kolok, P.; Hodoň, M.; Ševčík, P.; Hotz, L.; Remy, N. Low-Cost IoT-Based Predictive Maintenance Using Vibration. Sensors 2025, 25, 6610. https://doi.org/10.3390/s25216610.
7. Ayvaz, S.; Alpay, K. Predictive maintenance system for production lines in manufacturing: A machine learning approach using IoT data in real-time. Expert Systems with Applications, 2021, 173, 114598. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114598
8. Güler, Ümit & Bhuiyan, Mohammad &Mamur, Hayati. (2025). Vibration-based fault detection in cooling systems. Latin America 11th International conference on scientific researches. Pp. 198 – 202.
9. Lei, Y.; Yang, B.; Jiang, X.; Jia, F.; Li, N.; Nandi, A.K. Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap. Mechanical Systems and Signal Processing, 2020, 138, 106587. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106587.
10. Yan, R.; Gao, R.X.; Chen, X. Wavelets for fault diagnosis of rotary machines: A review with applications. Signal Processing, 2014, 96, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2013.04.015
11. Antoni, J. Cyclic spectral analysis of rolling-element bearing signals: Facts and fictions. Journal of Sound and Vibration, 2007, 304(3–5), 497–529. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2007.02.029
12. Lei, Y.; Lin, J.; He, Z.; Zuo, M.J. A review on empirical mode decomposition in fault diagnosis of rotating machinery. Mechanical Systems and Signal Processing, 2013, 35(1–2), 108–126. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2012.09.015
13. Peng, Z.K.; Chu, F.L. Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics: A review with bibliography. Mechanical Systems and Signal Processing, 2004, 18(2), 199–221. https://doi.org/10.1016/S0888-3270(03)00075-X
14. Fu, S.; Wu, Y.; Wang, R.; Mao, M. A Bearing Fault Diagnosis Method Based on Wavelet Denoising and Machine Learning. Applied Sciences, 2023, 13(10), 5936. https://doi.org/10.3390/app13105936
15. Fu, G.; Wei, Q.; Yang, Y. Bearing fault diagnosis with parallel CNN and LSTM. Mathematical Biosciences and Engineering, 2024, 21(2), 2385–2406. https://doi.org/10.3934/mbe.2024105
16. Zhang, S.; Zhang, S.; Wang, B.; Habetler, T.G. Deep learning algorithms for bearing fault diagnostics – a comprehensive study. IEEE Access, 2020, 8, 29857–29881. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2972859
17. Suryowinoto, Andy &Albanna, Isa & A., M. (2025). Smart Predictive Maintenance for Centrifugal Pumps: How IoT Sensors Reduce Downtime by Monitoring Vibration, Current, and Seal Integrity. International Journal of Artificial Intelligence & Robotics (IJAIR). 7. 18-25. https://doi.org/10.25139/ijair.v7i1.10398.

Information about the authors

A.V. Prosselkov – corresponding author, doctoral student, Department of Energetic and radioelectronics, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: proselkov96@mail.ru; ORCID: 0009-0002-9949-0312;
V.P. Chinishlov – master student, Department of Energetic and radioelectronics, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: vladislav-chin@mail.ru; ORCID: 0009-0002-9520-2440;
P.A. Petrov – PhD, Department Associate Professor, Department of Energetic and radioelectronics, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: paolo1988@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6669-5149;
G.Zh. Ospanova – PhD, Head of the Admission and Recruiting Office, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: gzhospanova@ku.edu.kz; ORCID: 0000-0002-3156-6045;
A.E. Adilbekov – doctoral student, Department of Energetic and radioelectronics, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: alibekadilbek93@mail.ru; ORCID: 0000-0002-2658-8792.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-350-365
УДК 53.083.9
МРНТИ 50.41.25

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ РАСХОДА ВЛАЖНОГО И СЕРНИСТОГО ГАЗА: ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Тажиева Г.Н.[1], Даев Ж.А.[2*]
[1]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серкебаева, Оскемен, Казахстан
[2]Баишев Университет, Актобе, Казахстан*
[*]Автор для корреспонденции: zhand@yandex.ru

Аннотация

Точное измерение и контроль расхода влажного и сернистого газа остаются одной из ключевых задач современных систем добычи, транспорта и подготовки углеводородного сырья. В реальных условиях эксплуатации природный и попутный газ редко представляет собой однофазную среду и, как правило, содержит жидкие компоненты, прежде всего воду и углеводородный конденсат, формируя многофазные смеси. Даже незначительное содержание жидкости существенно изменяет гидродинамику потока и приводит к значительным неопределённостям при использовании традиционных методов измерения расхода газа. В данной обзорной работе рассматривается роль измерения и контроля расхода бинарных систем «газ – вода» и анализируется эволюция технологий измерения влажного газа от классических подходов к интеллектуальным измерительным концепциям. В работе обобщены физические особенности течения влажного газа, включая скольжение фаз, изменчивость режимов течения и влияние жидкостной нагрузки на точность измерений. Ограничения традиционных методов рассмотрены с системной точки зрения, показывая, что основным источником погрешностей является динамическая структура многофазного потока, а не точность отдельных устройств. Особое внимание уделено эксплуатационным проблемам измерения и контроля сернистого газа, где коррозионные процессы, деградация сенсоров и изменение термофизических свойств среды дополнительно усложняют обеспечение достоверных измерений. Анализ современных исследований показывает переход от использования отдельных измерительных приборов к гибридным мультисенсорным системам, способным одновременно определять расход и фазовый состав среды. Рассмотрены перспективные направления развития, связанные с применением методов искусственного интеллекта, интеллектуальной обработки сигналов и цифровых двойников потоков для идентификации состояния потока в режиме реального времени. Показано, что будущие системы измерения и контроля влажного газа будут функционировать как интеллектуальные платформы мониторинга, интегрированные в инфраструктуру цифровых нефтегазовых производств. Совмещение мультифизических измерений, современных алгоритмов обработки данных и машинного обучения открывает возможности надёжного inline-измерения многофазных потоков без предварительной сепарации фаз.

Ключевые слова: влажный газ; сернистый газ; многофазный поток; интеллектуальное измерение; цифровое месторождение; искусственный интеллект.

ЫЛҒАЛДЫ ЖӘНЕ КҮКІРТТІ ГАЗ ШЫҒЫНЫН ӨЛШЕУ ЖӘНЕ БАҚЫЛАУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ӘДІСТЕРІ: ЦИФРЛЫҚ КЕН ОРЫНДАРЫНА АРНАЛҒАН ТЕХНОЛОГИЯЛАРҒА ШОЛУ

Тажиева Г.Н.[1], Даев Ж.А.[2*],

[1]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

[2]Бәйішев Университеті, Ақтөбе, Қазақстан*

[*]Хат-хабар үшін автор: zhand@yandex.ru

Аңдатпа

Ылғалды және күкіртті газдың шығынын дәл өлшеу мен бақылау қазіргі мұнай-газ өндіру, тасымалдау және дайындау жүйелерінің негізгі ғылыми-техникалық мәселелерінің бірі болып табылады. Нақты өндірістік жағдайларда табиғи және ілеспе газ бірфазалы орта ретінде кездеспейді және көбінесе су мен көмірсутекті конденсат сияқты сұйық компоненттерді қамтып, көпфазалы қоспа түзеді. Сұйық фазаның аз мөлшерінің өзі ағынның гидродинамикалық сипаттамаларын айтарлықтай өзгертеді және дәстүрлі газ шығынын өлшеу әдістерінде елеулі белгісіздіктердің пайда болуына әкеледі. Осы шолу мақаласында «газ – су» бинарлық жүйелеріндегі шығынды өлшеудің маңыздылығы қарастырылып, ылғалды газды өлшеу технологияларының классикалық тәсілдерден интеллектуалды өлшеу тұжырымдамаларына дейінгі эволюциясы талданады. Жұмыста ылғалды газ ағынының физикалық ерекшеліктері, соның ішінде фазалардың салыстырмалы жылдамдық айырмашылығы, ағын режимдерінің өзгергіштігі және сұйық жүктеменің өлшеу дәлдігіне әсері жинақталған. Дәстүрлі шығынөлшеу әдістерінің шектеулері жүйелік тұрғыдан қарастырылып, өлшеу қателіктерінің негізгі себебі жеке датчиктердің дәлдігі емес, көпфазалы ағын құрылымының динамикалық сипаты екені көрсетілген. Сонымен қатар, күкіртті газдарды өлшеу кезіндегі пайдалану қиындықтарына ерекше назар аударылған, себебі коррозия, сенсорлардың тозуы және ортаның термофизикалық қасиеттерінің өзгеруі өлшеу сенімділігін төмендетеді. Заманауи зерттеулерді талдау нәтижелері жеке аспаптардан ағын шығыны мен фазалық құрамын бір мезгілде анықтай алатын гибридті мультисенсорлық жүйелерге көшу үрдісін көрсетеді. Жасанды интеллект әдістерін, сигналдарды интеллектуалды өңдеуді және ағындардың цифрлық егіздерін пайдалану арқылы нақты уақыт режимінде ағын күйін анықтауға мүмкіндік беретін болашақ бағыттар қарастырылған. Болашақта ылғалды газды өлшеу жүйелері цифрлық мұнай-газ өндірісінің құрамдас бөлігі ретінде интеллектуалды мониторинг платформалары түрінде жұмыс істейтіні көрсетілген. Көпфизикалық өлшеулерді, заманауи деректерді өңдеу алгоритмдерін және машиналық оқытуды біріктіру фазаларды алдын ала бөлусіз көпфазалы ағындарды сенімді inline-өлшеуге мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: ылғалды газ; күкіртті газ; көпфазалы ағын; интеллектуалды өлшеу; цифрлық кен орны; жасанды интеллект.

INTELLIGENT METHODS FOR MEASUREMENT AND CONTROL OF WET AND SOUR GAS FLOW RATE: A REVIEW OF TECHNOLOGIES FOR DIGITAL OILFIELDS

Tazhieva G.N.[1], Dayev Zh.A.[2*]

[1] D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan

[2]Baishev University, Aktobe, Kazakhstan*

[*]Corresponding author: zhand@yandex.ru

Abstract

Accurate measurement and control of wet and sour gas flow remain critical challenges in modern oil and gas production, transportation, and processing systems. In operating conditions, natural and associated gases rarely exist as single-phase media and commonly contain liquid components, primarily water and hydrocarbon condensates, forming multiphase mixtures. Even insignificant amounts of liquid significantly affect flow hydrodynamics and introduce substantial uncertainties in conventional gas flow measurement methods. This review analyzes the importance of flow rate measurement in binary gas–water systems and examines the evolution

of wet gas metering technologies from traditional approaches toward intelligent measurement concepts. The study summarizes the physical characteristics of wet gas flows, including phase slip, flow regime variability, and the influence of liquid loading on measurement accuracy. The limitations of classical metering techniques are discussed from a system perspective, emphasizing that measurement errors originate mainly from the dynamic structure of multiphase flow rather than from individual sensor inaccuracies. Particular attention is given to operational challenges associated with sour gas environments, where corrosion, sensor degradation, and changing thermophysical properties further complicate reliable measurements. Based on the analyzed literature, current development trends indicate a transition from single-instrument solutions to hybrid and multisensory measurement systems capable of simultaneously estimating flow rate and phase composition. The review highlights emerging directions involving data-driven modeling, artificial intelligence, and digital twin technologies for real-time identification of flow conditions. These approaches enable adaptive measurement strategies that reduce dependence on empirical correlations and improve robustness under variable operating regimes. The review demonstrates that future wet gas metering systems will function as intelligent monitoring platforms integrated into digital oilfield infrastructures. The combination of multiphysical sensing, advanced signal processing, and machine learning provides a pathway toward reliable inline measurement without phase separation. The presented analysis outlines key technological challenges and identifies research directions necessary for developing next-generation intelligent measurement systems for complex multiphase gas flows.

Keywords: wet gas; sour gas; multiphase flow; intelligent metering; digital oilfield; artificial intelligence.

Введение

Современные технологические процессы добычи, подготовки и транспорта углеводородного сырья характеризуются значительным усложнением фазового состава транспортируемых потоков. Природный и попутный нефтяной газ в реальных промысловых условиях практически никогда не представляет собой сухую однофазную среду. В процессе эксплуатации месторождений газовый поток содержит жидкие компоненты – пластовую воду, конденсат, продукты химических реакций и примеси сернистых соединений. Такие потоки относятся к категории влажного газа и представляют собой многокомпонентные двухфазные системы, в которых даже незначительное содержание жидкости существенно влияет на гидродинамические характеристики течения и точность средств измерения и контроля расхода.

Особую практическую значимость представляет бинарная система «газ – вода», являющаяся базовой моделью большинства промысловых потоков. Наличие воды в газе обусловлено как естественными геологическими условиями, так и термодинамическими процессами конденсации влаги при изменении давления и температуры. Влажный газ широко встречается на этапах добычи, транспорта и первичной подготовки продукции скважин, а точное определение расхода газовой и жидкой фаз является критически важным для коммерческого учета, распределения добычи между скважинами и обеспечения устойчивой работы технологического оборудования.

Развитие методов измерения и контроля влажного газа обусловлено необходимостью повышения точности учета продукции месторождений, снижения эксплуатационных рисков и перехода нефтегазовой отрасли к цифровым интеллектуальным системам управления. Согласно современным представлениям, влажным газом принято считать двухфазный поток с объемной долей газа более 90–95 %, однако даже при столь высокой газовой составляющей присутствие жидкой фазы приводит к существенным систематическим ошибкам традиционных средств измерения и контроля расхода. В связи с этим измерение и контроль расхода влажного газа перестает быть задачей классической расходометрии и превращается в задачу

диагностики структуры многофазного потока с помощью информационно-измерительных управляющих систем.

Физические процессы, происходящие в газоводяных потоках, принципиально отличаются от однофазного течения. Основной сложностью является различие скоростей движения фаз, обусловленное разницей плотностей и действием гравитационных сил. Газовая фаза движется быстрее жидкой, что приводит к возникновению эффекта скольжения фаз и формированию неоднородной структуры потока [1-4].

Для количественного описания влажности газа широко применяется параметр Локхарта – Мартинелли, характеризующий относительное содержание жидкости в двухфазной системе. Данный параметр позволяет оценивать степень увлажненности потока независимо от типа измерительного устройства и используется в большинстве международных стандартов измерения параметров влажного газа. Практически установлено, что режим влажного газа соответствует значениям параметра менее 0,3, однако даже при таких условиях жидкая фаза способна занимать значительную часть поперечного сечения трубопровода, что приводит к существенному искажению результатов измерений расхода. В соответствии с работами [5-7] этот параметр количественно оценивается в виде следующей формулы:

$$X_{LM} = \frac{Q_l}{Q_g}\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}, \quad (1)$$

где $Q_l -$ массовый расход жидкой фазы, $Q_g -$ массовый расход газовой фазы, $\rho_l -$ плотность жидкой фазы, $\rho_g -$ плотность газовой составляющей потока.

Другим количественным показателем соотношения фаз в потоке или соотношения жидкой и газовой фаз является объемная доля газовой фракции (Gas volumetric fraction):

$$GVF = \frac{Q_g}{Q_g+Q_l} = \frac{1}{1+Q_l/Q_g} = \frac{\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}}{X_{LM}+\sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}}}. \quad (2)$$

Важным аспектом является различие между объемной долей газа и истинной долей газа в сечении трубопровода. В условиях двухфазного течения данные величины не совпадают из-за различия локальных скоростей фаз. Игнорирование этого фактора приводит к неверной интерпретации измерительных данных и является одной из основных причин ошибок при применении традиционных методов расходомерных систем.

Дополнительную сложность создают режимы течения газожидкостных смесей. В зависимости от давления, скорости фаз и геометрии трубопровода могут формироваться пузырьковый, стратифицированный, волновой, снарядный и кольцевой режимы течения. Для условий влажного газа наиболее характерным является кольцевой режим, при котором жидкость движется в виде пленки вдоль стенок трубопровода, а газ занимает центральную часть потока. Необходимо не только выполнять контроль фаз по формулам (1) или (2), но и учитывать относительное изменение одной из фаз над другой в виде отдельных режимов течения. Изменение режима течения приводит к резкому изменению показаний измерительных приборов и средств автоматизации, составляющих

измерительные каналы системы, что требует учета гидродинамической структуры при построении автоматизированных систем измерения [5-8, 17, 20].

Помимо технологических процессов, где имеет место двухфазный или двух- и многокомпонентный поток, существуют отрасли, в которых возникают такие течения в процессе эксплуатации основных процессов. Например, одной из фундаментальных особенностей современных газовых месторождений является постепенное увеличение обводнённости добываемой продукции по мере истощения пластов. На поздних стадиях разработки содержание жидкости в газовом потоке возрастает, что приводит к переходу режимов течения от условно однофазных к устойчивым газожидкостным структурам. В результате традиционные системы коммерческого учета газа, ориентированные на измерение и контроль расхода и количество сухого газа, начинают демонстрировать значительные систематические отклонения. Практика эксплуатации показывает, что даже доли процента жидкости способны вызвать ошибки измерения и контроля расхода газа, превышающие допустимые метрологические нормы.

Особую актуальность проблема приобретает при добыче сернистого газа. Наличие сероводорода, углекислого газа и водяного пара формирует агрессивную коррозионную среду, которая одновременно воздействует как на технологическое оборудование, так и на измерительные устройства и средства автоматизации. В условиях повышенной влажности ускоряется эрозия чувствительных элементов систем, изменяются коэффициенты истечения, ухудшается стабильность сигналов датчиков давления и скорости потока. Таким образом, задача измерения и контроля расхода влажного газа становится комплексной междисциплинарной проблемой, объединяющей гидродинамику многофазных потоков, метрологию, автоматизацию процессов, материаловедение и методы интеллектуальной обработки данных.

Современный этап развития нефтегазовой отрасли характеризуется переходом к концепции бессепарационной добычи и транспортировки продукции. Использование классических сепараторов на каждой кустовой площадке экономически и энергетически неэффективно, особенно для удалённых и морских месторождений. В связи с этим активно развиваются методы inline-измерения расхода влажного газа, позволяющие определять расход фаз непосредственно в трубопроводе без предварительного разделения смеси. Однако реализация таких систем требует глубокого понимания физики двухфазного течения и разработки специальных систем контроля и измерительных алгоритмов.

Точное измерение и контроль расхода и количества влажного газа имеет ключевое значение для технологических и экономических задач современной нефтегазовой отрасли. Во-первых, параметры газовой и жидкой фаз напрямую определяют дебит скважин и используются при распределении добычи между участниками разработки месторождения. Ошибки измерения приводят к неправильной оценке продуктивности скважин и существенным финансовым потерям.

Во-вторых, наличие воды и сернистых компонентов существенно влияет на надежность технологического оборудования. Влага ускоряет процессы коррозии трубопроводов, способствует образованию гидратов и ухудшает условия работы компрессорных станций. Сернистые соединения дополнительно усиливают коррозионную активность среды, повышая требования к непрерывному контролю параметров потока.

В-третьих, современные концепции цифровых месторождений предусматривают отказ от громоздких сепарационных установок и требуют обеспечить переход к

измерениям компонентов или фаз непосредственно в трубопроводах. Это требует разработки высокоточных автоматизированных систем измерения и контроля параметров влажного газа, способных работать в режиме реального времени без предварительного разделения фаз.

Таким образом, системы измерения и контроля параметров влажного газа становятся элементом не только коммерческого учета, но и интеллектуального управления технологическими процессами. Поэтому в рамках настоящей работы ставится задача выполнения обзора современных методов и систем контроля расхода и количества двухфазных (двухкомпонентных) потоков.

Методы и материалы исследования

Настоящее исследование выполнялось в форме аналитического обзора научных публикаций, которые посвящены современным методам и системам измерения и контроля расхода многофазных потоков, интеллектуальным системам и цифровым двойникам технологических процессов. Научный поиск проводился по тематическим ключевым словам и их комбинациям, которые охватывают предметную область настоящего исследовательского обзора.

При отборе публикаций для данного обзора учитывались их тематическое соответствие задачам данного исследования, наличие полного описания физических принципов методов и систем, сведения о технических и метрологических характеристиках, областях применимости и ограничения для этих методов и систем.

Анализ отобранных источников проводился по следующим критериям: используемый физический принцип измерения; зависимость результатов от структуры и режима многофазного потока; диапазон содержания жидкой фазы; возможность определения расхода отдельных фаз; метрологические характеристики; требования к вычислительным ресурсам; возможность интеграции с методами машинного обучения, софт-сенсорами и цифровыми двойниками. Результаты сравнительного анализа были систематизированы в таблицах, которые отражают аппаратно-измерительные и программно-алгоритмические аспекты построения интеллектуальных систем измерения и контроля расхода влажного газа.

Современные методы измерения и контроля влажного газа можно условно разделить на две взаимосвязанные группы: методы определения расхода потока и методы определения фазового состава. Эффективная автоматизированная измерительная система должна одновременно решать обе задачи.

Наиболее распространенными являются методы переменного перепада давлений, основанные на измерении перепада давления при прохождении потока через сужающие устройства. К данной группе относятся диафрагмы, трубы Вентури и конусные расходомеры. Их широкое применение объясняется конструкционной простотой, надежностью и накопленным опытом эксплуатации в нефтегазовой промышленности.

Однако присутствие жидкой фазы приводит к эффекту завышения показаний расхода газа, известному как over-reading. Жидкость увеличивает перепад давления, что приводит к ошибочному росту вычисленного расхода. Для компенсации данной ошибки разрабатываются корреляционные модели, учитывающие параметры двухфазного потока, однако их применимость ограничена диапазонами давления, геометрии трубопровода и режимов течения.

Труба Вентури получила наибольшее распространение в системах измерения влажного газа благодаря высокой устойчивости к эрозии, малым потерям давления и способности работать в широком диапазоне расходов. Многие промышленные системы

контроля расхода влажного газа используют именно данный тип преобразователей расхода как базовый элемент автоматизированной измерительной системы [8-14].

Экспериментальные исследования показывают, что величина ошибки на базе систем с трубой Вентури зависит от параметра Локхарта – Мартинелли, плотностного соотношения фаз и режима течения. В практических условиях жидкая пленка на стенках трубопровода может изменять эффективный диаметр проходного сечения, что приводит к нестабильности коэффициента истечения системы.

На примере труб Вентури было показано, что точность измерения газа может быть восстановлена только при использовании корреляционных моделей, учитывающих жидкостную нагрузку и характеристики течения. При этом универсальной коррекции не существует: каждая модель применима лишь в ограниченном диапазоне давлений и геометрических параметров установки. Основной сложностью реализации таких методов является необходимость знания доли жидкости до момента измерения, что фактически превращает задачу измерения и контроля расхода в обратную задачу идентификации двухфазного потока.

Дополнительной проблемой является изменение структуры потока после прохождения сужающего устройства. Эксперименты с многоотверстными и щелевыми диафрагмами показали, что устройство интенсивно атомизирует жидкость, переводя стратифицированный поток в кольцевой или туманообразный режим. Хотя это может улучшать однородность смеси, одновременно усложняется математическое описание процесса и возрастает неопределенность измерения и контроля жидкой фазы.

Альтернативным решением являются конусные расходомеры, обладающие компактностью и меньшими требованиями к длине прямых участков трубопровода. Несмотря на устойчивость к возмущениям потока, точное определение жидкой фазы при их использовании остается сложной задачей.

Помимо перечисленных устройств применяются методы, основанные на динамике потока. Вихревые расходомеры используют частоту образования вихрей, возникающих за обтекаемым телом, что обеспечивает хорошую линейность измерений. Однако их показания существенно зависят от режима течения и вибраций трубопровода. Кориолисовые расходомеры позволяют напрямую измерять массовый расход, но при наличии двух фаз наблюдаются ухудшение повторяемости и нестабильность сигналов вследствие сложного взаимодействия газа и жидкости внутри измерительной трубки.

В частности, системы с вихревыми преобразователями представляют альтернативный подход, основанный на измерении частоты образования вихрей Кармана за обтекаемым телом. Частота вихреобразования линейно связана со скоростью потока, что обеспечивает хорошие метрологические характеристики при измерении и контроле сухого природного газа. В условиях влажного газа принцип работы существенно осложняется. Капли жидкости взаимодействуют с вихревой структурой, изменяя устойчивость вихревого следа. Исследования, приведённые в обзорных работах [14 – 15], показали, что при увеличении содержания жидкости наблюдаются сильные флуктуации сигнала и зависимость погрешности от режима течения растут. При высоких скоростях газа происходит уменьшение удержания жидкости и снижение ошибки, тогда как при переходных режимах возникают скачкообразные изменения показаний.

Практическая реализация вихревых методов осложняется также внешними вибрациями трубопроводов и компрессорного оборудования, частоты которых могут совпадать с частотой вихреобразования. Это требует применения сложных алгоритмов фильтрации сигналов и дополнительных датчиков вибрации. В результате

автоматизированная измерительная система перестает быть простым расходомером и превращается в многоканальную диагностическую установку.

Кориолисовые расходомеры рассматриваются как перспективный инструмент благодаря способности напрямую измерять массовый расход среды. Принцип действия основан на регистрации силы Кориолиса, возникающей при колебании измерительной трубки [15, 16, 17].

Несмотря на высокую точность при работе с жидкостями, применение кориолисовых расходомеров в условиях влажного газа сопровождается серьёзными трудностями. Наличие двух фаз вызывает сложные колебательные режимы трубки, что приводит к снижению повторяемости показаний и росту шумов сигнала. Экспериментальные исследования показали, что даже при малом содержании жидкости возможно возникновение нестабильных режимов измерения.

Одной из причин является динамическое перераспределение фаз внутри измерительного канала. Газ и жидкость реагируют на вибрации различным образом, что приводит к фазовым сдвигам сигнала и необходимости применения адаптивных алгоритмов обработки. В современных работах предлагается использовать дополнительный параметр, мощность возбуждения колебаний, как индикатор влажности газа. Однако внедрение подобных методов требует значительных вычислительных ресурсов и усложняет процедуру калибровки каналов системы.

Ультразвуковые расходомеры широко применяются для измерения расхода сухого газа благодаря отсутствию гидравлических потерь и высокой точности. Метод основан на измерении времени прохождения акустического сигнала вдоль и против потока [17-20].

В газожидкостных бинарных смесях распространение ультразвуковых волн существенно изменяется из-за рассеяния сигнала на каплях жидкости и газожидкостных границах. Это приводит к ослаблению сигнала, появлению многолучевых эффектов и нестабильности измерений скорости потока. В ряде экспериментальных работ отмечено, что устойчивое измерение возможно только при очень малом содержании жидкости, тогда как при переходе к кольцевому режиму погрешность резко возрастает.

Сложность реализации ультразвуковых методов заключается также в необходимости точного знания акустических свойств среды, которые зависят от давления, температуры и состава газа. Для сернистых газов дополнительно возникает проблема химической стойкости преобразователей и деградации акустических путей.

Анализ современных исследований в данной области показывает, что наибольший интерес представляет объединение нескольких измерительных принципов в единую систему. Гибридные измерители обычно сочетают преобразователи переменного перепада давлений с датчиками фазовой доли, микроволновыми или инфракрасными сенсорами. Такой подход позволяет одновременно определять расход и фазовый состав смеси.

В обзорной работе [20] отмечается, что большинство коммерческих систем влажного газа представляют собой именно гибридные установки, объединяющие несколько однофазных измерителей потока, работающих совместно. Многоканальные структуры блоков систем могут быть выполнены в виде отдельных агрегированных подсистем, которые реализуются на методах с различными способами практической реализации. Современные методы организации цифровых производств позволяют выполнять эти задачи. Например, быстроразвивающиеся инструменты SCADA-систем позволяют реализовывать цифровые двойники полевых многокомпонентных и

многофазных расходоизмерительных систем, которые разворачиваются в виде подсистем с различным уровнем доступа на цифровом месторождении, с одной стороны. С другой стороны, на таких цифровых месторождениях могут быть вполне реализованы подсистемы принятия решений для гибкого управления технологическими операциями в условиях производства для оперативного персонала. Такие задачи могут быть решены с помощью привлечения метода нечеткой логики, машинного обучения и экспертных систем. Другими словами, автоматизированные и автоматические системы контроля и учета расхода многофазных потоков могут быть реализованы в целях повышения эффективности работы оборудования и процессов добычи на различных месторождениях. Верхний уровень таких систем и обработка информации, которая отправляется из оборудования, смонтированного непосредственно на производственных участках, реализуется довольно быстро и относительно менее затратно, чем инструментальная реализация основных элементов на самом нижнем уровне.

Несмотря на высокую точность различных преобразователей и элементов подсистем на нижнем уровне, их внедрение сопровождается рядом трудностей. Основными из них являются высокая стоимость оборудования, необходимость сложной калибровки на многофазных стендах и зависимость результатов измерения от конкретных условий эксплуатации.

Дополнительной проблемой является отсутствие универсальных математических моделей, способных корректно описывать все режимы течения. Большинство существующих алгоритмов основано на эмпирических корреляциях, полученных для ограниченных диапазонов параметров. При выходе за пределы экспериментальной базы погрешность измерения может существенно возрастать.

Обобщая результаты данного обзора, можно выделить ряд фундаментальных проблем, характерных практически для всех методов измерения и контроля бинарных смесей типа влажного газа.

Во-первых, измерительная автоматизированная система сталкивается с неопределённостью структуры потока. Режим течения может изменяться во времени даже при постоянных расходах фаз, что делает невозможным использование статических калибровочных коэффициентов.

Во-вторых, наблюдается сильная взаимосвязь измеряемых параметров. Давление, скорость, плотность и фазовая доля оказываются зависимыми величинами, поэтому измерение одной характеристики неизбежно требует оценки других параметров.

В-третьих, сернистые компоненты газа создают дополнительные эксплуатационные ограничения, включая коррозию, загрязнение сенсоров и изменение тепловых и акустических свойств среды.

В-четвертых, ключевой сложностью остается отсутствие универсального измерительного преобразователя. Современная практика подтверждает, что высокая точность может быть достигнута только при использовании комплексных измерительных систем, сочетающих физические модели течения, многопараметрические датчики и методы интеллектуальной обработки данных.

Ниже в таблице 1 представлен сравнительный анализ, сделанный на основе изучения последних литературных источников, который демонстрирует и обобщает основные свойства и возможности существующих автоматизированных цифровых систем измерения и контроля расхода и количества двухфазовых потоков. В таблице 1 в качестве опорных технологических основ подобных систем выбраны методы и первичные преобразователи расхода, которые часто применяются в мире и в нашей стране многими компаниями.

Таблица 1. Обобщение свойств и возможностей систем

№	Основной тип преобразователя расхода	Зависимость от структуры потока	Диапазон жидкостной составляющей	Требование гибридного преобразователя	Погрешность измерений
1	Сужающие устройства: диафрагмы, трубы Вентури, сопла	Дисперсно-кольцевой поток	$X_{LM} \leq 0.3$ либо $GVF > 95\%$	Высокая необходимость в дополнительном преобразователе	По газу ±2% … ±5%; По жидкости ±10% … ±20%
2	Вихревой преобразователь потока	Мелкодисперсный туман	$GVF > 99\%$	Высокая необходимость в дополнительном преобразователе	По газу ±5% … ±7%; По жидкости нет
3	Кориолисовые массомеры	Мелкодисперсная или квазигомогенная	$GVF > 98\%$ либо $GVF < 10\%$	Имеются собственные алгоритмы	По газу ±2% … ±5%;
4	Ультразвуковые преобразователи	Гомогенный поток либо расслоение	$GVF > 99\%$	Высокая необходимость в дополнительном преобразователе	По газу ±5% … ±10%

Анализ основных методов и показателей из таблицы 1 показывает, что чем выше чувствительность первичного преобразователя расхода к структуре газожидкостной смеси, тем сильнее сказываются требования к стабильности этого режима течения, а это приводит к более сложным требованиям математического аппарата моделей. Большинство систем измерения расхода требуют большого количества газовой фракции, также многие системы требуют гомогенную структуру потока. Расслоение потока и появление в нем крупных жидкостных конгломератов сильно увеличивает погрешность измерений расхода и количества газа. Требование низкого содержания жидкой фракции приводит к невозможности измерения расхода и количества жидкой фазы. Алгоритмы и основные физические закономерности многих систем являются довольно сложными и не до конца изучены, поэтому их реализация требует дополнительных устройств на базе микропроцессорной техники на более высоком уровне, где эти алгоритмы могут быть реализованы.

Последнее может значительно усложнить код программы и потребовать более сложных алгоритмов при программной реализации систем. Точность систем также сохраняется до тех пор пока показатели обводненности потока не начинают расти за пределы рекомендуемых значений.

Данный аналитический обзор обосновывает неизбежность перехода от чисто физических моделей расходометрии к интеллектуальным виртуальным датчикам (софт-сенсорам) на базе методов машинного обучения. Например, поскольку точный учет эффектов асимметричного сдвига фаз и волнового преломления акустических лучей на межфазных границах приводит к системам дифференциальных уравнений, не имеющим аналитического решения в реальном времени, применение алгоритмов искусственного интеллекта становится единственным инструментом обеспечения высокоточного коммерческого и оперативного учета. Таким образом, структурирование областей применимости физических методов позволяет определить оптимальные входные векторы признаков для нейросетевых моделей цифровых двойников нефтегазовых потоков, комбинируя стабильность сужающих устройств с диагностической емкостью кориолисовых и ультразвуковых преобразователей.

Наконец, можно заключить, что реализация практически любых алгоритмов, которые сопровождали бы раздельный учет отдельных фаз и компонентов потока при получении валидированных методов, доступна для реализации на самом верхнем уровне систем автоматизации цифрового месторождения для более эффективного и гибкого управления производством.

Результаты исследования и обсуждение

Анализ современных исследований измерения и контроля параметров влажного и сернистого газа показывает, что ключевые изменения происходят не на уровне отдельных измерительных устройств, а на уровне концепции измерения и контроля в целом. Исторически развитие расходометрии основывалось на предположении, что измеряемая среда может быть описана усреднёнными параметрами потока. Однако для влажного газа данное предположение оказывается принципиально неверным. Полученные в многочисленных экспериментальных исследованиях результаты демонстрируют, что основным источником неопределённости измерений является не погрешность датчиков, а динамическая изменчивость структуры многофазного потока.

В условиях бинарных систем «газ – вода» поток представляет собой нелинейную самоорганизующуюся систему, в которой распределение фаз непрерывно изменяется под действием давления, температуры и геометрии трубопровода. Следствием этого является фундаментальное ограничение традиционной метрологии: измерение расхода влажного газа невозможно свести к измерению одной физической величины. Вместо этого возникает задача оценки скрытого состояния среды [17].

Таким образом, главный результат проведённого анализа заключается в переходе научного сообщества от приборо-ориентированного подхода к информационно-ориентированному измерению, где измерительная автоматизированная система контроля и управления рассматривается как инструмент идентификации состояния потока.

Сопоставление экспериментальных данных различных исследований показывает наличие общего противоречия. С увеличением сложности измерительных приборов точность измерения возрастает лишь в ограниченном диапазоне условий эксплуатации. При изменении режима течения, состава газа или уровня жидкостной нагрузки наблюдается деградация метрологических характеристик независимо от принципа измерения [17].

Причина данного явления заключается в том, что большинство существующих методов основывается на статических корреляциях, полученных в лабораторных условиях. Эти корреляции предполагают квазистационарность потока, тогда как реальные промысловые системы характеризуются стохастическими колебаниями параметров. В результате измерительная система фактически работает вне области валидности собственных моделей.

Выявленная проблема указывает на фундаментальный вывод: дальнейшее повышение точности невозможно за счёт совершенствования отдельных датчиков. Необходим переход к методам, способным адаптироваться к изменяющемуся состоянию среды.

Современные тенденции развития измерения и контроля расхода влажного газа демонстрируют формирование нового класса систем – интеллектуальных многофизических измерительных комплексов. В отличие от традиционных расходомерных систем, такие системы используют совокупность разнородных сигналов:

давление, вибрации, акустические характеристики, флуктуации скорости, энергетические параметры потока [18].

Ключевым элементом становится не сам преобразователь или датчик, а алгоритм интерпретации данных. Измерение и контроль превращаются в задачу восстановления параметров потока по косвенным признакам. Это соответствует современной концепции «soft sensing», широко применяемой в сложных технологических процессах [18, 19, 21, 22, 23, 24, 25].

В данном контексте влажный газ рассматривается как скрытая динамическая система, состояние которой не может быть измерено напрямую [21, 22, 25]. Следовательно, измерительная автоматизированная система должна выполнять функции наблюдателя состояния, аналогично задачам современной теории управления.

Наиболее значимое направление будущего развития связано с внедрением методов искусственного интеллекта и машинного обучения. Проведённый анализ показывает, что именно алгоритмы машинного обучения способны преодолеть ключевые ограничения классических моделей.

Основное преимущество методов искусственного интеллекта заключается в способности выявлять нелинейные зависимости между параметрами потока без явного задания физической модели. В условиях влажного газа, где взаимодействие фаз носит сложный стохастический характер, такие методы позволяют реконструировать структуру потока по многомерному набору измерительных сигналов. Поэтому перспективными направлениями являются применение нейронных сетей для оценки фазовой доли, применение ансамблевых моделей прогнозирования расхода, глубокое обучение для классификации режимов течения и построение гибридных физико-информационных моделей.

Особенно важным является возможность непрерывного самообучения измерительной автоматизированной системы на основе эксплуатационных данных месторождения. Это принципиально меняет философию метрологии: вместо универсального расходомера появляется адаптивная измерительная платформа, оптимизирующая собственные параметры в процессе работы.

Альтернативным и одним из наиболее перспективных направлений развития является создание цифровых двойников многофазного потока. Цифровой двойник представляет собой вычислительную модель трубопроводной системы, работающую синхронно с реальным объектом и постоянно обновляющуюся на основе измерительных данных.

В рамках такой концепции измерение и контроль расхода перестает быть конечной целью. Вместо этого формируется непрерывная оценка состояния потока, включающая распределение фаз, вероятность возникновения slug-режимов, образование гидратов, изменения гидравлического сопротивления.

Использование цифровых двойников позволяет компенсировать отсутствие прямых измерений и существенно снижает зависимость результатов от конкретного типа расходомерного преобразователя.

Анализ современных публикаций показывает тенденцию к объединению функций измерения и управления. Измерительная система влажного газа постепенно превращается в элемент системы принятия решений.

В будущей системе измерения и контроля расхода будет выполняться одновременно несколько функций, как измерение, диагностика состояния трубопровода, прогноз аварийных режимов, оптимизация режима добычи.

Особенно важна данная тенденция для сернистых газов, где раннее обнаружение изменений структуры потока позволяет предотвращать ускоренную коррозию и аварийные ситуации.

Как было описано выше перенос основных функций систем измерения с аппаратно-физических концептов на программно-алгоритмический уровень развития систем требует четкой классификации методов реализации этих направлений со строгим сравнительным анализом программных компонентов. Поэтому в таблице 2 приведена структурированная система критериев и методов реализации программно-алгоритмической части систем на верхнем уровне.

Систематизация и анализ информации в таблице 2, позволяет распределить программные компоненты алгоритмов по уровням автоматизации цифрового месторождения. Детерминированные уровни с небольшими итерациями в алгоритмах можно легко организовать на уровне программируемых логических контроллеров (ПЛК) для того, чтобы обеспечить режим реального времени для исследуемых систем. Методы и алгоритмы, которые строят предиктивные модели для софт-сенсорных систем, должны быть реализованы на методах машинного обучения и гибридных цифровых двойников, потому что требуют агрегации большого количества данных из систем диспетчерского управления типа SCADA-систем и систем управления базами данных реального времени.

Таблица 2. Методы программной реализации алгоритмов и обработки данных систем

№	Наименование метода реализации программного компонента	Описание алгоритмической основы	Вычислительные ресурсы для реализации	Входные признаки нижнего уровня	Риски реализации
1	Жесткие объектные модели на основе физики процессов	Численное решение систем нелинейных уравнений (итерационные циклы Рафсона, коррекции Чисхолма и т.п.)	Низкие ресурсы. Реализуются на уровне контроллеров (ПЛК) или промышленных компьютеров	Первичные измерительные данные с полевых устройств и преобразователей	Накопление погрешностей при выходе за рекомендуемые границы параметров
2	Статистические софт-сенсорные модели	Статистический анализ временных рядов, авторегрессионные модели	Средние ресурсы. Уровень SCADA-серверов	Первичные данные, контроль флуктуаций параметров, статистические наблюдения	Высокая чувствительность к задержкам передачи данных
3	Машинное обучение и интеллектуальные модели	Глубокие нейронные сети, решающие деревья (MLP, LSTM, RF) и т.п.	Высокие ресурсы. Серверный уровень вычислений и обработки	Исторический массив данных глубиной десятки лет	Склонность к переобучению, зависимость от данных постоянна
4	Гибридные цифровые двойники	Интеграция нейросетевых моделей с жесткими балансовыми уравнениями	Очень высокие ресурсы. Распределенная микросервисная архитектура сетей	Сквозной вектор данных из поля с массивом исторических данных	Экстремальная сложность синхронизации данных и обработки результатов

Таким образом, измерительная автоматизированная система становится частью киберфизической инфраструктуры цифрового месторождения. Несмотря на очевидные преимущества, внедрение интеллектуальных методов измерения и контроля сталкивается с рядом серьёзных ограничений.

Первым барьером является отсутствие стандартизированной метрологической базы для алгоритмов искусственного интеллекта. В отличие от классических приборов, модели машинного обучения трудно поверять традиционными методами.

Вторым ограничением является дефицит репрезентативных обучающих данных. Многофазные стенды обладают высокой стоимостью эксплуатации, поэтому экспериментальные базы данных остаются ограниченными.

Третьим фактором является необходимость устойчивой работы алгоритмов в агрессивной среде сернистого газа, где возможны деградация сенсоров и изменение характеристик сигналов. Поэтому преодоление указанных барьеров требует совместного развития метрологии, вычислительных технологий и промышленных стандартов.

На основании проведённого анализа можно сформулировать вероятную архитектуру будущих систем измерения и контроля расхода влажного газа. Такие системы будут обладать следующими характеристиками:

- мультисенсорная структура;
- непрерывная идентификация режима течения;
- самообучающиеся алгоритмы;
- интеграция с цифровыми двойниками;
- прогнозирование технологических рисков.

Иными словами, развитие данного направления движется от измерительного прибора к автоматизированной интеллектуальной информационной системе.

Заключение

Проведённый обзор методов измерения и контроля расхода влажного и сернистого газа показал, что современные газовые потоки нефтегазовой отрасли представляют собой сложные многофазные системы, для которых классические подходы однофазной расходометрии оказываются недостаточными. Основным источником неопределённости измерений и контроля является изменчивая структура бинарных газожидкостных смесей, прежде всего системы «газ – вода», определяющая гидродинамическое поведение потока и метрологические характеристики измерительных устройств.

Анализ существующих методов свидетельствует, что повышение точности измерения не может быть достигнуто исключительно за счёт совершенствования отдельных приборов. Ограничения традиционных подходов обусловлены нелинейностью многофазного течения, зависимостью результатов измерений от режима потока и влиянием эксплуатационных факторов, включая агрессивные свойства сернистых компонентов газа. В связи с этим современное развитие подобных систем характеризуется переходом от прибороориентированных решений к комплексным мультисенсорным измерительным системам контроля.

Перспективным направлением является интеграция физических моделей многофазного течения с методами искусственного интеллекта, позволяющими выполнять идентификацию состояния потока в режиме реального времени. Использование алгоритмов машинного обучения, цифровых двойников и интеллектуальных систем обработки данных открывает возможность создания адаптивных измерительных комплексов, способных функционировать в широком диапазоне технологических условий без предварительной сепарации фаз.

Таким образом, дальнейшее развитие методов измерения расхода влажного газа связано с формированием интеллектуальных киберфизических систем мониторинга, обеспечивающих не только высокоточную оценку расхода, но и поддержку управления технологическими процессами добычи, транспорта и подготовки углеводородного сырья. Реализация данного подхода является ключевым условием повышения эффективности цифровых нефтегазовых производств и обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации месторождений сложного состава.

Во время подготовки данной рукописи авторы использовали инструменты искусственного интеллекта (ChatGPT, Gemini) для помощи в редактировании текста. Все научные интерпретации были выполнены авторами. Инструменты с поддержкой ИИ не применялись для сбора данных или статистического анализа. Все содержание материала было проверено и верифицировано авторами, которые несут полную ответственность за содержание и оригинальность рукописи статьи.

References:

1. Zheng W., Liang R., Zhang X., Liao R., Wang D., Huang L. Wet gas measurements of long-throat Venturi tube based on forced annular flow // Flow Measurement and Instrumentation. – 2021. – Vol. 81. – Article 102037. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2021.102037
2. He D., Bai B., Zhang J., Wang X. Online measurement of gas and liquid flow rate in wet gas through one V-Cone throttle device // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2016. – Vol. 75. – P. 129–136. https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.11.016
3. Zhang Y., Wang J. Review of metering and gas measurements in high-volume shale gas wells // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2022. – Vol. 12. – P. 1561–1594. https://doi.org/10.1007/s13202-021-01395-9
4. Liu W., Ma Y., Lyu J., Shao J., Wang S. Wet gas pressure drop across orifice plate in horizontal pipes in the region of flow pattern transition // Flow Measurement and Instrumentation. – 2020. – Vol. 71. – Article 101678. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.101678
5. Lockhart R.W., Martinelli R.C. Proposed correlation of data for isothermal two-phase, two-component flow in pipes // Chemical Engineering Progress. – 1949. – Vol. 45, No. 1. – P. 39–48.
6. Chisholm D. A theoretical basis for the Lockhart – Martinelli correlation for two-phase flow // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1967. – Vol. 10, No. 12. – P. 1767–1778.
7. Chisholm D. Research note: two-phase flow through sharp-edged orifices // Journal of Mechanical Engineering Science. – 1977. – Vol. 19, No. 3. – P. 128–130.
8. Steven R. Wet gas measurements // Proceedings of the 87th Annual International School of Hydrocarbon Measurement. – Oklahoma City, USA, 2012. – P. 176–178.
9. Zhang J., Hu W., Tan Z., Zhu H. Study on double differential pressure measurement method of gas-liquid two-phase flow in high gas content wells // Flow Measurement and Instrumentation. – 2023. – Vol. 91. – Article 102344. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2023.102344
10. Pan Y., Hong Y., Sun Q., Zheng Z., Wang D., Niu P. A new correlation of wet gas flow for low pressure with a vertically mounted Venturi meter // Flow Measurement and Instrumentation. – 2019. – Vol. 70. – Article 101636. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.101636
11. Ma Y., Ma Y., Lyu J., Liu W. Wet gas pressure drop across multi-orifice plate in horizontal pipe in low gas-phase Froude number region // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. – 2021. – Vol. 127. – P. 92–101. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.08.019
12. Hua C., Geng Y. Wet gas metering technique based on slotted orifice and swirlmeter in series // Flow Measurement and Instrumentation. – 2013. – Vol. 30. – P. 138–143. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2013.02.001
13. He D., Bai B. Numerical investigation of wet gas flow in Venturi meter // Flow Measurement and Instrumentation. – 2012. – Vol. 28. – P. 1–6. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2012.07.008
14. Lupeau A., Platet B., Gajan P., Strzelecki A., Escande J., Couput J.P. Influence of the presence of an upstream annular liquid film on the wet gas flow measured by a Venturi in a downward vertical

configuration // Flow Measurement and Instrumentation. – 2007. – Vol. 18, No. 1. – P. 1–11. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2006.09.002
15. Dayev Z.A., Yuluyev V.T. Invariant system for measuring the flow rate of wet gas on Coriolis flowmeters // Flow Measurement and Instrumentation. – 2019. – Vol. 70. – Article 101653. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2019.101653
16. Tan C., Murai Y., Liu W., Tasaka Y., Dong F., Takeda Y. Ultrasonic Doppler technique for application to multiphase flows: a review // International Journal of Multiphase Flow. – 2021. – Vol. 144. – Article 103811. https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103811
17. Salehi S.M., Lao L., Xing L., Simms N., Drahm W. Devices and methods for wet gas flow metering: a comprehensive review // Flow Measurement and Instrumentation. – 2024. – Vol. 96. – Article 102518. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2023.102518
18. Dayev Z.A. General theory of invariant methods for measuring the flow rate of multicomponent flows // Flow Measurement and Instrumentation. – 2022. – Vol. 85. – Article 102145. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2022.102145
19. Dayev Z.A., Shopanova G., Toksanbaeva B., Yetilmezsoy K., Sultanov N., Sihag P., Bahramian M., Kıyan E. Modeling the flow rate of dry part in the wet gas mixture using decision tree/kernel/non-parametric regression-based soft-computing techniques // Flow Measurement and Instrumentation. – 2022. – Vol. 86. – Article 102195. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2022.102195
20. Beecroft D. Is a wet gas (multiphase) mass flow ultrasonic meter just a pipe dream? // Measurement and Control. – 1998. – Vol. 31 (10). – P. 302–308. https://doi.10.1177/002029409803101003
21. Sravani V., Santhosh K.V. Soft sensor for an orifice flowmeter in presence of disturbances // Flow Measurement and Instrumentation. – 2022. – Vol. 86. – Article 102178. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2022.102178
22. Xu F., Wang J., Sakurai K., Sakai Y., Sabu S., Kanayama H., Zhang R., Satou D., Kansha Y. Soft-sensor model for indoor temperature prediction under heating conditions // Thermal Science and Engineering Progress. – 2024. – Vol.51. – Article 102656. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102650
23. Gao K., Cheng M., Wu J., Li X., Huang X., Luo X. Flow soft sensing for hydraulic valve with wear degradation based on a data-based orifice flow model // Measurement. – 2026. – Vol. 262. – Article 120111. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.120111
24. Gryzlov A., Leskens M., Mudde R.F. Soft sensing for two-phase flow using an ensemble Kalman filter // IFAC Proceedings Volumes. – 2009. – Vol. 42. – P. 584-589. https://doi.org/10.3182/20090712-4-TR-2008.00094
25. Chen R., Liang J., Li M., Meng E. Recent progress in blood flow sensing // Sensors and Actuators A: Physical. – 2025. – Vol.387. – Article 116457. https://doi.org/10.1016/j.sna.2025.116457

Information about the authors

G.N. Tazhieva – Master of Automation and Control, Doctoral student, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan; e-mail: akt_zhubatova@mail.ru;
Zh.A. Dayev – corresponding author, Full Professor, Doctor of Technical Sciences, Higher School of Social and Technical Sciences, Baishev University, Aktobe, Kazakhstan; e-mail: zhand@yandex.ru; ORCID:0000-0002-7685-2862.

ФИЛОЛОГИЯЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР / ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHILOLOGICAL SCIENCES

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-366-379
УДК 82.02:82-3(574)
МРНТИ 17.07.41

ТРАНСФОРМАЦИЯ МИФОЛОГИЧЕСКИХ МОТИВОВ В СОВРЕМЕННОЙ КАЗАХСТАНСКОЙ ЛИТЕРАТУРЕ

Онуфриюк О.И.[1*]

[1]НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан*

[*]Автор для корреспонденции: oonufriyuk@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию трансформации мифологических мотивов в современной казахстанской литературе. Актуальность исследования определяется устойчивым обращением казахстанских писателей к мифологическим моделям как к одному из способов художественного осмысления исторической памяти, национальной идентичности, экологических и цивилизационных кризисов. Цель исследования заключается в выявлении основных механизмов трансформации традиционных мифологических мотивов в современной казахстанской прозе и определении их художественных функций. Материалом исследования являются произведения Абдижамила Нурпеисова, Аслана Жаксылыкова, Николая Веревочкина, а также отдельные тексты современной казахской прозы, рассматриваемые в контексте национальной мифологической традиции. Методологическую основу составили мифопоэтический, сравнительно-исторический, структурно-семантический, историко-генетический и интертекстуальный методы. Результаты исследования показывают, что мифологический мотив в современной литературе не воспроизводится в неизменном виде, а подвергается модернизации, символизации, психологизации, историзации, экологизации, интертекстуализации и неомифологизации. Установлено, что наиболее продуктивными являются мифологемы воды, земли, камня, пути, границы, смерти и возрождения, животного-посредника и сакрального пространства. На материале «Последнего долга» А. Нурпеисова выявлена трансформация мифологической модели нарушения космического равновесия в экологический миф; в романе А. Жаксылыкова «Поющие камни» –психологизация мотива перехода и мифологизация внутреннего кризиса; в романе Н. Веревочкина «Зуб мамонта (летопись мёртвого города)» – историзация мотива конца мира и формирование мифа о распаде цивилизационного пространства. Сделан вывод о том, что современный казахстанский неомифологизм представляет собой форму культурной саморефлексии, соединяющую национальный культурный код с универсальными мифологическими моделями.

Ключевые слова: миф, мифологема, мифологический мотив, мифопоэтика, неомифологизм, авторский миф, культурная память, национальная идентичность, казахстанская литература, тюркская мифология, интертекстуальность.

ҚАЗІРГІ ҚАЗАҚСТАН ӘДЕБИЕТІНДЕГІ МИФОЛОГИЯЛЫҚ МОТИВТЕРДІҢ ТРАНСФОРМАЦИЯСЫ

Онуфриюк О.И.[1*]
[1*]*«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» ҚеАҚ, Петропавл, Қазақстан*
[*]*Хат-хабар үшін автор:oonufriyuk@mail.ru*

Аңдатпа

Мақала қазіргі Қазақстан әдебиетіндегі мифологиялық мотивтердің трансформациясын зерттеуге арналған. Зерттеудің өзектілігі қазақстандық жазушылардың тарихи жадыны, ұлттық бірегейлікті, экологиялық және өркениеттік дағдарыстарды көркемдік тұрғыдан пайымдаудың бір тәсілі ретінде мифологиялық модельдерге тұрақты түрде жүгінуімен айқындалады. Зерттеудің мақсаты – қазіргі Қазақстан прозасындағы дәстүрлі мифологиялық мотивтердің трансформациялануының негізгі тетіктерін анықтау және олардың көркемдік қызметтерін айқындау. Зерттеу материалы ретінде Әбдіжәміл Нұрпейісовтің, Аслан Жақсылықовтың, Николай Веревочкиннің шығармалары, сондай-ақ ұлттық мифологиялық дәстүр контексінде қарастырылатын қазіргі қазақ прозасының жекелеген мәтіндері алынды. Зерттеудің әдіснамалық негізін мифопоэтикалық, салыстырмалы-тарихи, құрылымдық-семантикалық, тарихи-генетикалық және интертекстуалдық әдістер құрады. Зерттеу нәтижелері қазіргі әдебиетте мифологиялық мотивтің өзгеріссіз қалпында қайталанбайтынын, керісінше модернизация, символизация, психологизация, тарихиландыру, экологияландыру, интертекстуализация және неомифологизация үдерістеріне ұшырайтынын көрсетеді. Су, жер, тас, жол, шекара, өлім мен қайта туу, жануар-делдал және сакралды кеңістік мифологемаларының неғұрлым өнімді екені анықталды. Ә. Нұрпейісовтің «Соңғы парыз» шығармасы негізінде ғарыштық тепе-теңдіктің бұзылуы туралы мифологиялық модельдің экологиялық мифке трансформациялануы; А. Жақсылықовтың «Поющие камни» («Ән салатын тастар») романында өтпелі кезең мотивінің психологизациялануы және ішкі дағдарыстың мифологизациялануы; Н. Веревочкиннің «Зуб мамонта (летопись мёртвого города)» («Мамонттың тісі (өлі қаланың шежіресі)») романында ақырзаман мотивінің тарихиландырылуы және өркениеттік кеңістіктің ыдырауы туралы мифтің қалыптасуы анықталды. Қазіргі қазақстандық неомифологизм ұлттық мәдени кодты әмбебап мифологиялық модельдермен ұштастыратын мәдени өзіндік рефлексияның бір түрі болып табылады деген қорытынды жасалды.

Кілт сөздер: миф, мифологема, мифологиялық мотив, мифопоэтика, неомифологизм, авторлық миф, мәдени жады, ұлттық бірегейлік, Қазақстан әдебиеті, түркі мифологиясы, интертекстуалдық.

TRANSFORMATION OF MYTHOLOGICAL MOTIFS IN CONTEMPORARY KAZAKHSTANI LITERATURE

O.I. Onufriyuk[1*]
[1*]*Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavl, Kazakhstan*
[*]*Corresponding author: oonufriyuk@mail.ru*

Abstract

The article examines the transformation of mythological motifs in contemporary Kazakhstani literature. The relevance of the study is determined by Kazakhstani writers' sustained engagement with mythological models as a means of artistic interpretation of historical memory, national identity, and ecological and civilizational crises. The aim of the study is to identify the principal mechanisms through which traditional mythological motifs are transformed in contemporary Kazakhstani prose and to determine their artistic functions. The research material includes works by Abdizhamil Nurpeisov, Aslan Zhaksylykov, and Nikolai Verevochkin, as well as selected texts of contemporary Kazakh prose examined within the context of the national mythological tradition. The methodological framework comprises mythopoetic, comparative-historical, structural-semantic, historical-genetic, and intertextual approaches. The findings demonstrate that mythological motifs in contemporary literature are not reproduced in an unchanged form; rather, they undergo modernization, symbolization, psychologization, historicization, ecologization, intertextualization, and neomythologization. The study establishes that the most productive mythologemes are those of water, earth, stone, the journey, the boundary, death and rebirth, the animal

as mediator, and sacred space. An analysis of A. Nurpeisov's The Last Duty reveals the transformation of the mythological model of disrupted cosmic equilibrium into an ecological myth; A. Zhaksylykov's Singing Stones demonstrates the psychologization of the motif of transition and the mythologization of inner crisis; while N. Verevochkin's The Mammoth's Tooth (Chronicle of a Dead City) reveals the historicization of the end-of-the-world motif and the formation of a myth concerning the disintegration of civilizational space. The study concludes that contemporary Kazakhstani neomythologism constitutes a form of cultural self-reflection that combines the national cultural code with universal mythological models.

Keywords: myth, mythologeme, mythological motif, mythopoetics, neomythologism, authorial myth, cultural memory, national identity, Kazakhstani literature, Turkic mythology, intertextuality.

Введение

Миф является одной из наиболее устойчивых форм культурной памяти и одновременно одним из наиболее подвижных способов художественного моделирования действительности. В истории литературы он функционирует не только как источник сюжетов и образов, но и как особый способ организации художественного пространства, времени, системы персонажей и авторской картины мира. В современной литературе обращение к мифологическим образам и моделям становится особенно значимым, поскольку они позволяют рассматривать индивидуальный опыт в контексте коллективной памяти, а конкретные исторические события – в соотношении с универсальными закономерностями человеческого существования.

Для современной литературы Казахстана данная проблема имеет особое значение. Национальная литературная традиция формировалась в тесном взаимодействии с фольклором, эпосом, древнетюркскими представлениями, тенгрианскими образами, культом предков, анималистической символикой и сакральной географией степного пространства. Одновременно современная казахстанская литература включена в широкий мировой литературный процесс и взаимодействует с русской, европейской, восточной и постмодернистской художественными традициями.

Актуальность исследования обусловлена тем, что современный писатель обращается к мифу не столько с целью реконструкции архаической картины мира, сколько для осмысления проблем современности: кризиса идентичности, разрушения традиционного уклада, исторической памяти, экологической катастрофы, культурной глобализации, изменения системы ценностей и взаимоотношений человека с природой.

Степень разработанности темы определяется наличием значительного теоретического и конкретно-литературного материала. Теоретические основания изучения мифа и мифопоэтики представлены в трудах Е.М. Мелетинского, М. Элиаде, В.Н. Топорова, Ю.М. Лотмана, З.Г. Минц, С.С. Аверинцева и других исследователей [1, с. 276–278; 2, с. 11–28; 3, с. 7–15]. В этих исследованиях миф рассматривается как особая система моделирования мира, а мифологические структуры – как важный компонент культурной памяти и художественного мышления.

Проблематика неомифологизма в казахской литературе получила развитие в исследованиях С.М. Алтыбаевой и Ж.Ж. Жарылгапова. Алтыбаева рассматривает неомифологизм современной казахской прозы в связи с поликультурным дискурсом и поиском новых художественных перспектив [4, с. 27–39]. Жарылгапов исследует неомифологизм национальной прозы в контексте общих закономерностей литературного развития и подчёркивает его связь с модернистскими и постмодернистскими тенденциями [5, с. 75–79]. Современное исследование Шанаева, Джолдасбековой, Какильбаевой, Коваленко и Баянбаевой специально посвящено

мифологизму казахстанской прозы и анализирует произведения А. Нурпеисова, А. Жаксылыкова и Н. Веревочкина [6, с. 208–230]. Авторы рассматривают полифункциональность мифа, его семантику и структурообразующую функцию в современной прозе.

Мифопоэтический анализ казахской прозы представлен также в исследовании Ш. Исмаиловой и Ж. Баянбаевой, где рассматриваются мифологические мотивы и образы, авторский мифологизм, архетипический образ старика, мифологемы слепоты и прозрения, этиологические и тотемические мифы, а также взаимодействие мифологических мотивов с тенгрианством [7, с. 157–163].

Несмотря на значительное количество исследований, проблема **механизмов трансформации** мифологических мотивов в современной казахстанской литературе требует дальнейшей разработки. Важно не только выявить присутствие мифа в конкретном произведении, но и установить, каким образом меняется его семантика при переходе из традиционной мифологической системы в современный художественный текст.

Проблема исследования заключается в определении того, каким образом традиционные мифологические мотивы преобразуются в современной казахстанской литературе и какие новые значения приобретают в контексте исторических, социальных, экологических и культурных изменений.

Объект исследования – современная казахстанская литература конца XX - начала XXI века.

Предмет исследования – способы трансформации мифологических мотивов и мифологем в современной казахстанской прозе, их семантические и структурно-функциональные изменения.

Цель статьи – выявить основные модели трансформации мифологических мотивов в современной казахстанской литературе и определить их роль в формировании художественной картины мира.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. определить теоретические основания исследования мифологического мотива;
2. охарактеризовать основные источники национального мифологического кода;
3. выявить основные типы трансформации мифологических мотивов;
4. проанализировать их функционирование в произведениях А. Нурпеисова, А. Жаксылыкова и Н. Веревочкина;
5. определить связь мифологической образности с проблемами культурной памяти и национальной идентичности;
6. установить значение неомифологизма в современном литературном процессе Казахстана.

Структура статьи соответствует логике научного исследования и включает введение, раздел «Материалы и методы исследования», раздел «Результаты исследования», раздел «Обсуждение/дискуссия», выводы и список использованной литературы.

Материалы и методы

Материалом исследования стали художественные произведения современной казахстанской литературы, в которых мифологические мотивы выполняют значимую структурообразующую или смысловую функцию.

Основной корпус составили:

- А. Нурпеисов «Последний долг»;

• А. Жаксылыков «Поющие камни»;
• Н. Веревочкин «Зуб мамонта (летопись мёртвого города)».

Дополнительным материалом послужили исследования мифопоэтики казахской прозы, работы по древнетюркскому фольклору, теории мифа, неомифологизму и современной казахстанской литературе [4–10].

Выбор художественных текстов обусловлен тем, что именно в них мифологические структуры имеют различную функциональную природу. В «Последнем долге» мифологический код связан прежде всего с природой, экологической катастрофой и нравственной ответственностью человека; в «Поющих камнях» – с философской и психологической проблематикой; в «Зубе мамонта» – с исторической памятью и разрушением цивилизационного пространства. Такой корпус позволяет осуществить сопоставительный анализ различных моделей трансформации.

Теоретико-методологическая база

Основным методом исследования является **мифопоэтический метод**, позволяющий выявить устойчивые мифологические мотивы, архетипические структуры, символы и способы их художественного преобразования. Значимость данного метода для анализа казахской прозы отмечена Ш. Исмаиловой и Ж. Баянбаевой, которые используют его для выявления мифологем, архетипических образов, тотемических и этиологических мотивов [7, с. 157–163].

Сравнительно-исторический метод используется для сопоставления традиционной мифологической модели с её современным литературным воплощением.

Историко-генетический метод позволяет выявить происхождение отдельных мотивов и установить их связь с тюркской, казахской и мировой мифологическими традициями.

Структурно-семантический метод применяется для определения функций мифологем в композиции, системе образов и семантической организации художественного текста.

Интертекстуальный метод используется для выявления взаимодействия национальных и универсальных мифологических моделей.

Сопоставительный анализ позволяет определить сходства и различия в функционировании мифологических мотивов в произведениях разных авторов.

В соответствии с задачами исследования был проведён последовательный анализ по следующим этапам:

1. выявление мифологического мотива в художественном тексте;
2. определение его традиционной культурной семантики;
3. установление характера его сюжетной и композиционной функции;
4. сопоставление традиционного значения и авторской интерпретации;
5. определение нового семантического значения мотива;
6. установление его связи с проблематикой произведения.

Таким образом, единицей анализа выступает не только отдельный образ, но **трансформированный мифологический мотив в его связи с сюжетом, системой персонажей, пространством, временем и авторской концепцией**.

Результаты

1. Типология трансформации мифологических мотивов

Проведённый анализ позволил выделить девять основных моделей трансформации мифологического материала.

Таблица 1. Основные модели трансформации мифологических мотивов в современной казахстанской литературе

Тип трансформации	Сущность процесса	Основная функция	Характерный материал
Ретрансляция	Сохранение традиционной семантики мотива	Сохранение культурной памяти	Тенгрианские и фольклорные мотивы
Модернизация	Перенос архаического мотива в современную ситуацию	Осмысление актуальных проблем	Экологическая и социальная проблематика
Символизация	Преобразование мотива в многозначный символ	Философское обобщение	Вода, камень, степь
Психологизация	Перенос мифологического конфликта во внутренний мир героя	Раскрытие кризиса личности	Мотив перехода, границы
Историзация	Соединение мифологической модели с историческим материалом	Осмысление прошлого	Миф о конце мира
Экологизация	Применение мифологической модели к отношениям человека и природы	Экологическая этика	«Последний долг»
Интертекстуализация	Соединение различных мифологических традиций	Диалог культур	Тюркские и мировые мифологические мотивы
Деконструкция	Разрушение исходной мифологической модели	Критика традиционных представлений	Современная постмодернистская проза
Неомифологизация	Создание нового авторского мифа на основе традиционной модели	Формирование новой картины мира	«Поющие камни», «Зуб мамонта»

Представленная типология позволяет перейти от простого перечисления мифологических образов к анализу **механизма их семантического преобразования**.

Традиционный мифологический код
↓
Мифологический мотив / мифологема
↓
Авторская актуализация
↓
Перенос в современный историко-культурный контекст
↓
Семантическая трансформация
↓
Новая функция: экологическая / историческая / психологическая / идентификационная
↓
Авторский неомиф

Рисунок 1. Модель трансформации мифологического мотива

Предложенная модель показывает, что современный литературный миф возникает не непосредственно из архаического материала, а через несколько этапов его переосмысления.

2. Трансформация мифологической модели в «Последнем долге» А. Нурпеисова

Наиболее показательным примером экологической трансформации мифа является дилогия А. Нурпеисова «Последний долг».

Исследователи специально выделяют в произведении мифологемы Арала, льдины, героя-путешественника, смерти и перехода, связывая их с общей мифологической структурой произведения [6, с. 214–223].

Традиционная мифологическая модель предполагает существование космического порядка, нарушение которого приводит к катастрофе. В современном романе эта структура получает экологическую интерпретацию: **нарушение природного равновесия → разрушение пространства → кризис человека → нравственное испытание → необходимость ответственности.**

Арал в романе перестаёт быть исключительно географическим объектом. Он приобретает значение мифологемы, объединяющей природу, историю и человеческую память.

Особую роль играет мотив воды. В традиционных мифологических системах вода связана с жизнью, очищением, переходом и обновлением. В «Последнем долге» значение воды оказывается парадоксально трансформированным: море становится пространством утраты. Исчезновение воды символизирует исчезновение привычного мира. Таким образом, возникает **антимифологическая ситуация**: пространство, которое традиционно должно обеспечивать жизнь, превращается в пространство смерти.

Не менее значим мотив льдины. Льдина становится пограничным пространством, отделяющим героя от привычной реальности. Она связана с мотивом перехода и испытания [6, с. 214–217].

Жадигер при этом приобретает черты современного мифологического героя. Его действия связаны не только с бытовыми обстоятельствами, но и с противостоянием силам разрушения. В этом смысле герой оказывается включён в универсальную модель испытания.

Финальная трансформация связана с мотивом птицы. Исследователи связывают его с тюркской мифологической семантикой перехода души умершего в птицу [6, с. 217]. Однако в современном тексте этот мотив приобретает новое значение. Он становится символом продолжения памяти и духовной жизни после смерти.

Следовательно, в «Последнем долге» миф трансформируется одновременно в нескольких направлениях:

- космологический миф → экологическая модель;
- мотив нарушения запрета → человеческая ответственность;
- вода как жизнь → вода как символ утраты;
- переход → нравственное испытание;
- смерть → продолжение памяти.

Таким образом, Нурпеисов создаёт **экологический неомиф**, в котором трагедия Арала получает универсальный философский смысл.

3. Мифологема камня в романе А. Жаксылыкова «Поющие камни»

Другой вариант трансформации представлен в романе А. Жаксылыкова «Поющие камни».

Исследователи определяют роман как произведение с выраженной мифологической структурой и обращают внимание на символику священного камня Инь-Ян [6, с. 218–221]. В традиционной культуре камень может выступать символом устойчивости, древности, памяти, сакрального пространства. В современном романе эта семантика значительно расширяется.

Камень становится медиатором между:

- материальным и духовным;
- прошлым и настоящим;
- жизнью и смертью;
- индивидуальным сознанием и культурной памятью.

Таким образом, происходит **символизация традиционного мотива**.

Особенно важна семантика Инь-Ян, связанная с идеей единства противоположностей. В контексте произведения данная модель приобретает психологический характер. Противоположности оказываются не только элементами космической структуры, но и характеристиками внутреннего мира человека.

Мифологическая модель трансформируется: **космическое единство противоположностей → психологическая раздвоенность личности → поиск внутреннего равновесия.**

Не менее важен мотив границы. Пространство реки и пересечения границы приобретает значение порога между различными состояниями бытия. В результате традиционный мифологический мотив перехода становится моделью внутреннего изменения героя.

Циклическая организация времени также усиливает мифологическую структуру произведения. Возвращение к исходным образам не означает механического повторения событий. Оно предполагает новое понимание уже пережитого.

Следовательно, в «Поющих камнях» происходит **психологизация мифологического мотива**.

4. Историзация мифа в романе Н. Веревочкина «Зуб мамонта»

Роман Н. Веревочкина «Зуб мамонта (летопись мёртвого города)» представляет иной тип трансформации – историзацию мифа.

Исследователи определяют произведение как роман-миф и связывают его художественную структуру с мифологическими моделями конца мира, разрушения и перехода [6, с. 212–213; 6, с. 221–223].

Город в романе представляет собой не только пространство действия. Он становится символом определённой исторической и культурной системы.

В традиционной мифологии конец мира предполагает разрушение космоса и переход к новому состоянию. В романе эта модель получает современную историческую интерпретацию: **существующий порядок → кризис → разрушение → исчезновение мира → сохранение памяти.**

Особое значение приобретает фигура человека, который сохраняет следы исчезающего мира. В результате возникает новая разновидность мифологического героя – **герой-хранитель**.

Если традиционный герой обычно движется к завоеванию будущего, то герой Веревочкина обращён к прошлому. Его задача заключается в сохранении памяти о мире, который исчезает. Тем самым трансформируется и сама модель героического действия: **подвиг как создание нового мира → подвиг как сохранение памяти об ушедшем мире.**

Так возникает современный миф о культурной памяти.

5. Мифологический мотив и национальная идентичность

Особую функцию мифологические мотивы выполняют в процессе формирования и осмысления национальной идентичности.

Современная казахстанская литература наследует значительный комплекс мифологических образов, связанных с природой, степным пространством, небом, землёй, предками, животными и героической традицией.

Исследователи подчёркивают, что мифологические мотивы в казахской прозе тесно связаны с национальными традициями и культурным наследием [7, с. 157–163].

Однако современная литература не просто сохраняет эти мотивы. Она переводит их в новую систему ценностей.

Так, степь становится не только географическим пространством, но и мифологемой памяти. Небо может символизировать утраченную духовную вертикаль. Конь способен приобретать значение исторической преемственности. Образ старца связывается с памятью поколений и сохранением знания.

Исследование С.М. Алтыбаевой показывает, что такие образы, как Степь, Тенгри, Жерұйық, небо, горы, конь и жырау, являются значимыми национально-культурными концептами современной казахской прозы [8, с. 15–17].

Следовательно, мифологический мотив выполняет **идентификационную функцию**. Он позволяет ответить на вопрос о культурной принадлежности не через прямое декларативное утверждение, а посредством образной памяти.

6. Национальное и универсальное в современном казахстанском неомифологизме

Результаты анализа позволяют утверждать, что современный казахстанский мифологизм развивается в пространстве взаимодействия национальных и универсальных моделей.

Национальный культурный код включает:

- древнетюркские представления;
- тенгрианскую символику;
- казахский эпос;
- фольклор;
- культ предков;
- сакральную географию;
- зооморфные и тотемические мотивы.

Универсальный пласт включает:

- античные мифологические модели;
- библейскую символику;
- восточную мифологию;
- архетипы пути, смерти и возрождения;
- мотив конца мира;
- постмодернистскую деконструкцию мифа.

Их соединение приводит к формированию **поликультурного неомифа**. С.М. Алтыбаева рассматривает неомифологизм современной казахской прозы именно в связи с поликультурным дискурсом и поиском новых художественных перспектив [4, с. 27–39].

В этом контексте современный миф выполняет двойную функцию. С одной стороны, он сохраняет национальную культурную память, с другой – переводит национальный опыт на универсальный язык мировой литературы.

7. Мифологическое пространство и демонологические мотивы в прозе Айгуль Кемелбаевой

Существенно расширяет картину современного казахстанского неомифологизма проза Айгуль Кемелбаевой. В рассказах «Тобылғысай» и «Тырнақ» («Коготь») национальный мифологический код проявляется через сакрализацию степного пространства, демонологические представления и психологизацию контакта человека с потусторонним миром [19–22].

В «Тобылғысай» степь перестаёт быть только географическим фоном и превращается в пространство культурной памяти, где прошлое продолжает воздействовать на настоящее. Традиционная модель сакрального природного пространства преобразуется по схеме: архаический миф → символическая память пространства → психологическая и культурная интерпретация современности. Тем самым сакральная география получает идентификационную функцию и связывает индивидуальный опыт героя с памятью рода и национальным культурным кодом [19; 20].

В рассказе «Тырнақ» демонологический пласт казахской мифологии подвергается иной трансформации. Представления об албасты и иных враждебных сущностях сохраняют узнаваемую фольклорную основу, однако сверхъестественное постепенно становится способом выражения внутренней тревоги, скрытого страха и нарушения психологической целостности. Демонологический образ переходит из сферы буквального мифологического верования в сферу психологической метафоры [20; 22].

Материал Кемелбаевой позволяет дополнить предложенную типологию: символизация и психологизация могут разворачиваться не только в крупной романной форме, но и в малой прозе, где мифологический мотив концентрированно связывает сакральное пространство, культурную память и внутренний кризис личности. В сопоставлении с Нурпеисовым, Жаксылыковым и Веревочкиным это подтверждает вариативность трансформации мифа: экологическую, психологическую, историческую и культурно-идентификационную.

Обсуждение

Полученные результаты позволяют уточнить существующие представления о мифологизме современной казахстанской литературы.

Исследования С.М. Алтыбаевой и Ж.Ж. Жарылгапова показали, что неомифологизм связан с активизацией мифологических структур в современной казахской прозе и с их включением в поликультурный художественный контекст [4, с. 27–39; 5, с. 75–79]. Настоящее исследование развивает это положение, предлагая рассматривать неомифологизм прежде всего как **процесс трансформации**, а не как статическую совокупность мифологических элементов.

Существенно совпадают с полученными результатами выводы Шанаева и соавторов, которые определяют миф как полифункциональный компонент современной казахстанской прозы и выделяют его сюжетную, семантическую и структурообразующую функции [6, с. 208–230].

Вместе с тем проведённый анализ позволяет дополнительно дифференцировать механизмы этой полифункциональности. Мифологический мотив может выполнять разные функции в зависимости от степени его преобразования:

- при ретрансляции он прежде всего сохраняет культурную память;
- при модернизации связывает архаическую модель с современной проблематикой;

• при психологизации переводит мифологический конфликт во внутреннее пространство;

• при историзации становится инструментом осмысления коллективной памяти;

• при экологизации позволяет интерпретировать кризис природы как нарушение нравственного порядка;

• при неомифологизации становится основой авторского моделирования реальности.

Особенно продуктивным оказывается сопоставление трёх произведений.

В «Последнем долге» доминирует **экологическая трансформация** мифа. Мифологическая структура становится способом осмысления отношения человека и природы.

В «Поющих камнях» преобладает **психологическая трансформация**. Архаический мотив перехода становится способом изображения внутренней раздвоенности и поиска нового состояния личности.

В «Зубе мамонта» доминирует **историческая трансформация**. Мифологическая модель конца мира используется для осмысления исчезновения определённого культурно-исторического пространства.

Таким образом, мифологизм в современной казахстанской литературе оказывается не однотипным явлением. Он способен функционировать в различных смысловых регистрах.

Можно выделить три наиболее значимые стратегии: **миф как память**, **миф как диагностика настоящего**, **миф как модель будущего**.

Первая стратегия связана с сохранением культурного наследия. Вторая – с критическим осмыслением современности. Третья – с созданием новых моделей существования и возможного духовного обновления.

Дискуссионным остаётся вопрос о границах понятия «неомифологизм». С одной стороны, чрезмерное расширение этого термина может привести к тому, что любой символический образ будет объявлен мифологическим. С другой стороны, ограничение неомифологизма только прямой реконструкцией древнего мифа не позволяет объяснить многие процессы современной казахстанской прозы.

Поэтому продуктивным представляется функциональный подход: мифологическим следует считать тот элемент художественного текста, который не только обладает традиционной культурной семантикой, но и организует более широкий комплекс смыслов, связанных с архетипической моделью мира. В этом отношении важным критерием становится **трансформационная глубина**. Чем сильнее исходный мифологический мотив изменяется при сохранении его структурного ядра, тем более выраженным оказывается неомифологический характер текста.

Предлагаемая типология позволяет, таким образом, уточнить место современной казахстанской литературы в мировом литературном процессе. Она демонстрирует, что национальная литература не просто сохраняет традиционные мифологические структуры, а активно преобразует их в соответствии с современными культурными вызовами.

Заключение

Проведённое исследование позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Мифологический мотив является динамической структурой. В современной казахстанской литературе он не сохраняется в неизменном виде, а проходит процесс семантической и функциональной трансформации.

2. Основными механизмами трансформации являются ретрансляция, модернизация, символизация, психологизация, историзация, экологизация, интертекстуализация, деконструкция и неомифологизация.

3. Современный казахстанский неомифологизм связан с национальной культурной памятью, однако не ограничивается национальной мифологией. Он формируется в результате взаимодействия тюркских, казахских, исламских, русских, европейских и других культурных моделей.

4. В «Последнем долге» А. Нурпеисова мифологический мотив трансформируется в экологическую модель. Катастрофа Арала получает значение нарушения природного и нравственного порядка, а мотив перехода и смерти связывается с памятью и духовным продолжением [6, с. 214–223].

5. В «Поющих камнях» А. Жаксылыкова происходит психологизация мифологического мотива. Камень, граница, переход и циклическое время превращаются в средства художественного исследования внутреннего кризиса личности [6, с. 218–221].

6. В романе Н. Веревочкина «Зуб мамонта» мифологическая модель конца мира историзируется. Разрушение города приобретает значение распада определённой цивилизационной системы, а фигура хранителя памяти становится современной разновидностью мифологического героя [6, с. 221–223].

7. Мифологические мотивы выполняют идентификационную функцию. Они позволяют современной литературе сохранять связь с национальным культурным наследием и одновременно переосмысливать его в новых исторических условиях [7, с. 157–163; 8, с. 15–17].

8. Проза Айгуль Кемелбаевой демонстрирует культурно-идентификационную и психологическую трансформацию мифа: сакральное пространство степи становится формой культурной памяти, а демонологический мотив – метафорой внутреннего кризиса личности [19–22].

9. Научная новизна исследования заключается в предложении типологии трансформации мифологических мотивов и в определении взаимосвязи между типом трансформации и ведущей проблематикой произведения.

10. Теоретическая ценность исследования состоит в развитии представлений о современном казахстанском неомифологизме как о процессе преобразования традиционного культурного материала.

11. Практическая ценность заключается в возможности использовать результаты исследования в университетских курсах по истории казахстанской литературы, современной литературе Центральной Азии, мифопоэтике, сравнительному литературоведению, интертекстуальности и теории литературы.

Сопоставление полученных результатов с предшествующими исследованиями показывает, что они в целом подтверждают вывод о полифункциональности мифа в современной казахстанской прозе [6, с. 208–230], развивают положения о неомифологизме как форме поликультурного художественного дискурса [4, с. 27–39] и уточняют роль мифопоэтического метода в интерпретации казахской прозы [7, с. 157–163].

Главный результат исследования состоит в том, что **миф в современной казахстанской литературе выступает не как возвращение к архаике, а как механизм художественного обновления культурной памяти**. Традиционная мифологическая модель, вступая во взаимодействие с современными историческими,

экологическими, психологическими и социальными проблемами, превращается в авторский неомиф.

Таким образом, трансформация мифологических мотивов становится одним из способов участия современной казахстанской литературы в мировом литературном процессе. Через неомифологизм национальный культурный опыт получает возможность быть представленным в универсальных категориях человеческого существования – памяти, ответственности, утраты, идентичности, перехода и духовного обновления.

Литература:

1. Мелетинский Е.М. Поэтика мифа / Е.М. Мелетинский. – М.: Наука, 1976. – 407 с.
2. Элиаде М. Аспекты мифа / М. Элиаде; пер. с фр. - М.: Академический проект, 2001. – 239 с.
3. Топоров В.Н. Миф. Ритуал. Символ. Образ: исследования в области мифопоэтического / В.Н. Топоров. – М.: Прогресс: Культура, 1995. – 624 с.
4. Алтыбаева С.М. Неомифологизм современной казахской прозы: поликультурный дискурс и поиск художественной перспективы / С.М. Алтыбаева // Respectus Philologicus. – 2011. – № 20 (25). – С. 27–39.
5. Жарылгапов Ж.Ж. Особенности течения неомифологизма в национальной прозе / Ж.Ж. Жарылгапов // Вестник Карагандинского государственного университета. Серия «Филология». – 2012. – № 2 (66). – С. 75–79.
6. Мифологизм современной казахстанской прозы: лексико-семантический аспект / Р.У. Шанаев, Б.У. Джолдасбекова, Э.Т. Какильбаева [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Теория языка. Семиотика. Семантика. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 208–230. – DOI https://doi.org/10.22363/2313-2299-2023-14-1-208-230.
7. Исмаилова Ш. Мифопоэтический анализ казахской повести второй половины XX века / Ш. Исмаилова, Ж. Баянбаева // Eurasian Journal of Philology: Science and Education. – 2023. – Т. 189, № 1. – С. 157–163. – DOI https://doi.org/10.26577/EJPh.2023.v189.i1.ph1.
8. Алтыбаева С.М. Современная казахская проза: анализ, интерпретация, постижение / С.М. Алтыбаева. – Алматы: Ұлағат, 2011. – 127 с.
9. Лотман Ю.М. Литература и мифы / Ю.М. Лотман, З.Г. Минц, Е.М. Мелетинский // Мифы народов мира: энциклопедия: в 2 т. – М.: Советская энциклопедия, 1982. – Т. 2. – С. 58–65.
10. Аверинцев С.С. Заметки к будущей классификации типов символа / С.С. Аверинцев // Проблемы изучения культурного наследия. – М.: Наука, 1985. – С. 297–303.
11. Қасқабасов С.А. Таңдамалы. Үшінші том. Фольклорная проза казахов. Избранные исследования / С.А. Қасқабасов. – Астана: Фолиант, 2014. – 424 с.
12. Турсунов Е.Д. Древнетюркский фольклор: истоки и становление / Е.Д. Турсунов. – Алматы: Дайк-Пресс, 2001. – 172 с.
13. Жарылгапов Ж.Ж. Взаимосвязь между мифом и письменной литературой / Ж.Ж. Жарылгапов, А. Рахимжанова // European Researcher. – 2013. – Т. 50, № 5-3. – С. 1465–1471.
14. Жанысбекова Э.Т. Мифологические образы и мотивы в современной казахстанской прозе: дис. … доктора философии (PhD): 6D020500 – Филология / Э.Т. Жанысбекова. – Алматы, 2018. – 161 с.
15. Алтыбаева С.М. Мифо-фольклорные инсталляции в структуре художественного текста / С.М. Алтыбаева, Е.С. Сагындыков // Филологический аспект. – 2019. – № 7 (51). – С. 153–163.
16. Нурпеисов А. Последний долг: роман / А. Нурпеисов. – Алматы: Жазушы, 2000. – 544 с.
17. Жаксылыков А.Ж. Поющие камни: роман / А.Ж. Жаксылыков // Сны окаянных. – Алматы: Жазушы, 2001. – 480 с.
18. Веревочкин Н. Зуб мамонта (летопись мёртвого города): роман / Н. Веревочкин. – Алматы: Жазушы, 2007. – 320 с.
19. Жанайдаров О. Мифы Древнего Казахстана: детская энциклопедия Казахстана / О. Жанайдаров. – Алматы: Аруна, 2006. – 245, [7] с.: ил.
20. Кондыбай С. Казахская мифология: краткий словарь / С. Кондыбай. – Алматы: Нурлы Алем, 2005. – 272 с.
21. Кемелбаева А. Тобылғысай: повесть және әңгімелер / А. Кемелбаева. – Астана: Елорда, 2001. – 120 с. – (Отырар кітапханасы).

22. Кемелбаева А. Тырнақ: әңгіме [Электронный ресурс] / А. Кемелбаева // Abai.kz. – 2022. – 12 дек. – URL: https://abai.kz/post/161887 (дата обращения: 14.09.2026).

References:

1. Meletinskij E.M. Poetika mifa / E.M. Meletinskij. – M.: Nauka, 1976. – 407 s.
2. Eliade M. Aspekty mifa / M. Eliade; per. s fr. – M.: Akademicheskij proekt, 2001. – 239 s.
3. Toporov V.N. Mif. Ritual. Simvol. Obraz: issledovaniya v oblasti mifopoeticheskogo / V.N. Toporov. – M.: Progress: Kul'tura, 1995. – 624 s.
4. Altybaeva S.M. Neomifologizm sovremennoj kazahskoj prozy: polikul'turnyj diskurs i poisk hudozhestvennoj perspektivy / S.M. Altybaeva // Respectus Philologicus. – 2011. – № 20 (25). – S. 27–39.
5. Zharylgapov Zh.Zh. Osobennosti techeniya neomifologizma v nacional'noj proze / Zh.Zh. Zharylgapov // Vestnik Karagandinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Filologiya». – 2012. – № 2 (66). – S. 75–79.
6. Mifologizm sovremennoj kazahstanskoj prozy: leksiko-semanticheskij aspekt / R.U. SHanaev, B.U. Dzholdasbekova, E.T. Kakil'baeva [i dr.] // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Teoriya yazyka. Semiotika. Semantika. – 2023. – T. 14, № 1. – S. 208–230. – DOI https://doi.org/10.22363/2313-2299-2023-14-1-208-230.
7. Ismailova S.H. Mifopoeticheskij analiz kazahskoj povesti vtoroj poloviny XX veka / Sh. Ismailova, Zh. Bayanbaeva // Eurasian Journal of Philology: Science and Education. – 2023. – T. 189, № 1. – S. 157–163. – DOI https://doi.org/10.26577/EJPh.2023.v189.i1.ph1.
8. Altybaeva S.M. Sovremennaya kazahskaya proza: analiz, interpretaciya, postizhenie / S.M. Altybaeva. – Almaty: Ұlағat, 2011. – 127 s.
9. Lotman Yu.M. Literatura i mify / Yu.M. Lotman, Z.G. Minc, E.M. Meletinskij // Mify narodov mira: enciklopediya: v 2 t. – M.: Sovetskaya enciklopediya, 1982. – T. 2. – S. 58–65.
10. Averincev S.S. Zametki k budushchej klassifikacii tipov simvola / S.S. Averincev // Problemy izucheniya kul'turnogo naslediya. – M.: Nauka, 1985. – S. 297–303.
11. Қасқабasov S.A. Таңdamaly. Yshinshi tom. Fol'klornaya proza kazahov. Izbrannye issledovaniya / S.A. Қасқабasov. – Astana: Foliant, 2014. – 424 s.
12. Tursunov E.D. Drevnetyurkskij fol'klor: istoki i stanovlenie / E.D. Tursunov. – Almaty: Dajk-Press, 2001. – 172 s.
13. Zharylgapov Zh.Zh. Vzaimosvyaz' mezhdu mifom i pis'mennoj literaturoj / Zh.Zh. Zharylgapov, A. Rahimzhanova // European Researcher. – 2013. – T. 50, № 5-3. – S. 1465–1471.
14. Zhanysbekova E.T. Mifologicheskie obrazy i motivy v sovremennoj kazahstanskoj proze: dis. … doktora filosofii (PhD): 6D020500 – Filologiya / E.T. Zhanysbekova. – Almaty, 2018. – 161 s.
15. Altybaeva S.M. Mifo-fol'klornye installyacii v strukture hudozhestvennogo teksta / S.M. Altybaeva, E.S. Sagyndykov // Filologicheskij aspekt. – 2019. – № 7 (51). – S. 153–163.
16. Nurpeisov A. Poslednij dolg: roman / A. Nurpeisov. – Almaty: ZHazushy, 2000. – 544 s.
17. Zhaksylykov A.Zh. Poyushchie kamni: roman / A.Zh. Zhaksylykov // Sny okayannyh. – Almaty: Zhazushy, 2001. – 480 s.
18. Verevochkin N. Zub mamonta (letopis' myortvogo goroda): roman / N. Verevochkin. – Almaty: Zhazushy, 2007. – 320 s.
19. Zhanajdarov O. Mify Drevnego Kazahstana: detskaya enciklopediya Kazahstana / O. Zhanajdarov. – Almaty: Aruna, 2006. – 245, [7] s.: il.
20. Kondybaj S. Kazahskaya mifologiya: kratkij slovar' / S. Kondybaj. - Almaty: Nurly Alem, 2005. - 272 s.
21. Kemelbaeva A. Tobylғysaj: povest' zhәne әңgimeler / A. Kemelbaeva. – Astana: Elorda, 2001. – 120 s. – (Otyrar kitaphanasy).
22. Kemelbaeva A. Tyrnaқ: әңgime [Elektronnyj resurs] / A. Kemelbaeva // Abai.kz. – 2022. – 12 dek. – URL: https://abai.kz/post/161887 (data obrashcheniya: 14.09.2026).

Information about the author

O.I. Onufriyuk – corresponding author, Master of Pedagogical Sciences, Teaching assistant, Department of Russian Language and Literature, Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC, Petropavlovsk, Kazakhstan; e-mail: oonufriyuk@mail.ru; ORCID: 0009-0001-2776-6140.

DOI 10.54596/2958-0048-2026-3-380-395
УДК 821.161.1-1.09
МРНТИ 17.09.91

КОРАН В МЕТАФИЗИЧЕСКОЙ ВСЕЛЕННОЙ ДАНИИЛА АНДРЕЕВА: МОТИВЫ, РЕЦЕПЦИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ

Рахманова А.Х.[1*], Очилова Н.Н.[2]
[1]Навоийский государственный университет, Навои, Узбекистан*
[2]Самаркандский педагогический институт, Самарканд, Узбекистан
[*]Автор для корреспонденции: alya211@list.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию восточного цикла стихотворений Даниила Андреева, в частности произведений «Серебряная ночь Пророка» и «Палестинская мелодия» из сборника «Голоса веков». В центре внимания - механизмы освоения русским поэтом мусульманской религиозно-культурной традиции и ее трансформация в индивидуально-авторскую художественную систему. Актуальность работы обусловлена необходимостью пересмотра имагологических подходов в литературоведении и выявления роли поэзии как инструмента цивилизационного диалога в поликультурном пространстве России.

В отличие от предшествующих исследований, сосредоточенных на биографическом или общерелигиозном контексте, в данной работе предлагается системно-концептуальный анализ восточных текстов Андреева, позволяющий рассматривать их не как экзотическую ориентальную стилизацию, а как результат глубинного метафизического сращения «своего» и «чужого» материала. Новым является выявление специфических приемов поэтической адаптации коранических смыслов, при которых заимствованные образы перестают быть внешними и становятся органичной частью авторского миропонимания.

В статье анализируется, как Андреев преодолевает внешнюю «чуждость» восточного источника через работу с ритмико-синтаксической структурой стиха, систему повторов и пауз, создающих эффект исповедальности и эпичности. Особое внимание уделяется способам передачи смыслов Корана, а также воссозданию восточного миропонимания на уровне образного строя и пространственно-временных отношений. При анализе подчеркиваются важные составляющие метафизики художественного текста Д.Андреева, рассматривается специфика воплощения восточных и коранических мотивов в творчестве поэта, подчеркивается ценность использования поэтом главных смыслов Священной книги мусульман.

Материал излагается последовательно: от постановки имагологической проблемы и методологических оснований (теория системно-концептуального подхода) к конкретному поэтическому анализу двух ключевых текстов, а затем - к обобщению выявленных механизмов метафизического хронотопа, который Андреев выстраивает на стыке русской и восточной культурных традиций.

Результаты исследования показывают, что поэтическая интерпретация Корана у Андреева не сводится к тематическому цитированию, а формирует самостоятельную художественную модель, раздвигающую границы пространства и времени. Созданный синтез восточно-русской культуры обладает ценностным потенциалом для понимания межкультурного диалога, а выявленные принципы адаптации «чужого» материала могут быть применены к анализу других примеров ориентальной поэзии. Дальнейшее изучение творческой динамики Андреева в этом аспекте представляется научно и практически значимым.

Ключевые слова: поэтическая интерпретация Корана, межкультурный диалог, метафизический хронотоп, имагология, ориентальная поэтика, цивилизационно-религиозная коммуникация.

ДАНИИЛ АНДРЕЕВТІҢ МЕТАФИЗИКАЛЫҚ ӘЛЕМІНДЕГІ ҚҰРАН: МОТИВТЕР, РЕЦЕПЦИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ

Рахманова Ә.Х.[1*], Очилова Н.Н.[2]
[1]Науайы мемлекеттік университеті, Науаи, Өзбекстан*
[2]Самарқанд мемлекеттік педагогикалық институты, Самарқанд, Өзбекстан
[*]Хат-хабар үшін автор: alya211@list.ru

Аңдатпа

Мақала Даниил Андреевтің шығыс өлеңдер циклін, атап айтқанда «Пайғамбардың күміс түні» және «Палестина әуені» атты «Ғасырлар дауысы» жинағына енген шығармаларын зерттеуге арналған. Зерттеудің орталығында орыс ақынының мұсылмандық діни-мәдени дәстүрді игеру механизмдері мен оны жеке авторлық көркемдік жүйеге айналдыру тәсілдері жатыр. Жұмыстың өзектілігі әдебиеттанудағы имагологиялық тәсілдерді қайта қарау қажеттілігімен және Ресейдің көпмәдениетті кеңістігінде поэзияның өркениеттік диалог құралы ретіндегі рөлін айқындаумен негізделеді.

Бұрынғы зерттеулерден өзгешелігі, мұндағы еңбектер негізінен биографиялық немесе жалпы діни контекске назар аударса, бұл мақалада Андреевтің шығыс мәтіндеріне жүйелі-концептуалды талдау жасалып, олар экзотикалық ориенталистік стилизация ретінде емес, «өздік» және «жат» материалдың терең метафизикалық тоғысуының нәтижесі ретінде қарастырылады. Жаңашылдық – Құран мағыналарын поэтикалық бейімдеудің нақты тәсілдерін анықтаудан тұрады, бұл тәсілдер арқылы алынған бейнелер сыртқы сипаттан арылып, авторлық дүниетанымның органикалық бөлшегіне айналады.

Мақалада Андреевтің шығыс дереккөзінің сыртқы «жаттығын» ырғақтық-синтаксистік өлең құрылымы, қайталаулар мен үзілістер жүйесі арқылы қалай жеңетіні талданады; бұл тәсілдер мойындауыштық пен эпикалық кесектенудің әсерін туғызады. Құран мағыналарын беру тәсілдеріне, сондай-ақ шығыс дүниетанымын бейнелік жүйе мен кеңістіктік-уақыттық қатынастар деңгейінде қайта жаңғыртуға ерекше назар аударылады. Талдау барысында Д.Андреев көркем мәтінінің метафизикалық негізгі құрамдас бөліктері айқындалып, ақын шығармашылығындағы шығыс және құрандық сарындардың бейнелену ерекшелігі қарастырылады, сондай-ақ ақынның мұсылман Қасиетті кітабының негізгі мағыналарын пайдалануының құндылығы атап өтіледі.

Материал бірізді түрде баяндалады: имагологиялық мәселе мен әдіснамалық негіздерді (жүйелі-концептуалды тәсіл теориясы) қоюдан бастап, екі негізгі мәтінге толық поэтикалық талдау жүргізуге, содан кейін Андреев орыс және шығыс мәдени дәстүрлерінің тоғысында қалыптастыратын метафизикалық хронотоптың анықталған механизмдерін жинақтауға дейін ұсынылады.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, Андреевтің Құранды поэтикалық интерпретациясы тақырыптық дәйексөзге саятын емес, керісінше, кеңістік пен уақыт шекарасын кеңейтетін дербес көркемдік үлгіні қалыптастырады. Қалыптасқан шығыс-орыс мәдениетінің синтезі мәдениетаралық диалогты түсіну үшін маңызды эвристикалық әлеуетке ие, ал «жат» материалды бейімдеудің анықталған принциптері ориентальды поэзияның басқа үлгілерін талдауға қолданылуы мүмкін. Андреев шығармашылық динамикасын осы аспектіде одан әрі зерттеу ғылыми және практикалық тұрғыдан маңызды болып табылады.

Кілт сөздер: Құранның поэтикалық интерпретациясы, мәдениетаралық диалог, метафизикалық хронотоп, имагология, ориентальды поэтика, өркениеттік-діни коммуникация.

THE QURAN IN THE METAPHYSICAL UNIVERSE OF DANIIL ANDREEV: MOTIFS, RECEPTION, TRANSFORMATION

A.Kh. Rakhmanova[1*], N.N. Ochilova[2]
[1]Navoi State University, Navoi, Uzbekistan*
[2]Pedagogical Institute, Samarkand, Uzbekistan
[*]Corresponding author: alya211@list.ru

Abstract

The article examines the Eastern poetry cycle of Daniil Andreev, specifically the works "The Prophet's Silver Night" and "Palestinian Melody" from the collection Voices of the Ages. The study focuses on the mechanisms by

which the Russian poet assimilates the Muslim religious and cultural tradition and transforms it into an individual authorial artistic system. The relevance of the work is determined by the need to reassess imagological approaches in literary studies and to identify the role of poetry as an instrument of civilizational dialogue within Russia's multicultural space.
In contrast to previous scholarship, which has concentrated on biographical or general religious contexts, this study offers a systemic-conceptual analysis of Andreev's Oriental texts. This approach allows them to be interpreted not as exotic Orientalist stylizations, but as the outcome of a profound metaphysical fusion of the "native" and the "alien" material. The novelty lies in identifying the specific devices of poetic adaptation of Qur'anic meanings, whereby borrowed imagery ceases to be external and becomes an organic component of the author's worldview.
The article analyses how Andreev overcomes the external "otherness" of the Eastern source through his handling of rhythmic-syntactic verse structures, systems of repetition, and caesuras, which produce an effect of confessionalism and epic grandeur. Particular attention is paid to the means of conveying Qur'anic meanings, as well as to the reconstruction of the Eastern worldview at the level of figurative imagery and spatio-temporal relations. The analysis highlights the key metaphysical constituents of Andreev's literary text, examines the specific embodiment of Oriental and Qur'anic motifs in his poetry, and emphasizes the value of the poet's engagement with the core meanings of the Muslim Holy Book.
The material is presented sequentially: from the formulation of the imagological problem and methodological foundations (grounded in the theory of the systemic-conceptual approach) to a detailed poetic analysis of the two key texts, and thence to a synthesis of the identified mechanisms of the metaphysical chronotope, which Andreev constructs at the intersection of Russian and Eastern cultural traditions.
The findings demonstrate that Andreev's poetic interpretation of the Qur'an does not reduce to thematic quotation but instead generates an independent artistic model that expands the boundaries of space and time. The resulting synthesis of Eastern and Russian culture possesses significant heuristic value for understanding intercultural dialogue, and the revealed principles of adapting "alien" material may be applied to the analysis of other instances of Oriental poetry. Further study of Andreev's creative dynamics in this respect appears both scientifically and practically warranted.

Keywords: poetic interpretation of the Qur'an, intercultural dialogue, metaphysical chronotype, imagology, Oriental poetics, civilizational and religious communication.

Введение

Актуальность исследования обусловлена возрастающей ролью межкультурного и межрелигиозного диалога в условиях глобализации и усиления цивилизационных противоречий. В XXI веке, характеризующемся технологической унификацией, но одновременно и ростом культурно-религиозной самоидентификации, литературный обмен становится не просто формой художественной коммуникации, но и инструментом преодоления мировоззренческих барьеров. Русская литература, в силу геополитического положения России и её многовекового взаимодействия с исламским миром, накопила значительный опыт освоения восточных религиозно-философских концептов. Еще А.А. Потебня отмечал, что «процесс поэтического творчества является необходимым для них самих и период развития и завершения поэтической деятельности наступает вместе с завершением их собственного развития» [1, с. 229]. Как справедливо отмечал П.В. Тартаковский, к началу XX века «начала ощущаться историческая ограниченность модели мира, которую на протяжении долгих и неспокойных веков вырабатывало европейское мышление. Все более неуместным выглядело желание строить историографические, религиозные, правовые, нравственные и эстетические концепции, основываясь исключительно на опыте общественной жизни Европы» [2, с. 28]. Эта методологическая установка требует пересмотра механизмов рецепции «чужого» духовного опыта в рамках национальной поэтической традиции.

Объектом исследования является восточный цикл стихотворений Д.Л. Андреева, представленный в сборнике «Голоса веков» и включающий, в частности, произведения «Серебряная ночь Пророка» и «Палестинская мелодия».

Предметом исследования выступают специфика поэтической репрезентации коранических мотивов, а также механизмы трансформации мусульманских религиозно-культурных смыслов в индивидуально-авторскую художественную систему Д.Л. Андреева.

Цель статьи – выявление и системный анализ особенностей воплощения коранических мотивов в творчестве Д.Л. Андреева, а также определение места его поэтического Востока в контексте русской имагологической традиции.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

описать механизмы преодоления «чужеродности» восточного материала в лирике Андреева;

проанализировать структурно-семантическую организацию ключевых стихотворений восточного цикла;

выявить роль ритмико-синтаксических средств в создании метафизического хронотопа, синтезирующего русскую и восточную культурные традиции.

Теоретической основой работы служат труды А.А. Потебни о личностной природе поэтического творчества [1], а также исследования П.В. Тартаковского об исторической исчерпанности европоцентристской модели [2]. Вопросы рецепции исламских мотивов в русской литературе рассматривались в работах М. Эпштейна, Б. Романова, П.В. Алексеева и других авторов. Однако, как показывает анализ научной литературы, целостное исследование, прослеживающее логику развития коранических мотивов от Пушкина к Андрееву, до сих пор не предпринималось. Настоящая работа восполняет этот пробел, предлагая новый системный подход к сопоставительному анализу интерпретаций коранических мотивов в творчестве представителей русской классики.

Материалы и методы исследования

Материалом исследования послужили поэтические тексты Д.Л. Андреева из цикла «Голоса веков» (в частности, «Серебряная ночь Пророка» и «Палестинская мелодия»), а также публицистические и дневниковые записи автора, позволяющие реконструировать его мировоззренческие установки.

В работе применяется комплексная методология, включающая следующие методы:

Сравнительно-исторический метод. Применяется для установления преемственности между традицией русского ориентализма (в частности, коранической интерпретациями А.С. Пушкина) и творчеством Д.Л. Андреева. Данный метод позволяет выявить эволюцию имагологических представлений о Востоке в русской поэзии первой половины XX века.

Структурно-семантический метод. Используется для анализа формальной организации стихотворных текстов: ритмического рисунка, строфики, синтаксических конструкций, систем повторов и пауз. С помощью этого метода в работе исследуется, как внешняя форма (структура) участвует в порождении семантических значений, связанных с восточной топикой.

Мотивный анализ. Применяется для выделения устойчивых тематических блоков (мотивов), восходящих к коранической сюжетам (мотив пророчества, мотив ночного странствия, мотив священного текста). Анализ мотивов позволяет проследить способы адаптации исламских религиозных смыслов в светском поэтическом дискурсе.

Элементы интертекстуального анализа. Используются для выявления скрытых и явных отсылок к Корану, а также к другим восточным источникам, что позволяет охарактеризовать характер диалога Андреева с мусульманской традицией.

Применение данной методологической триады (исторический – структурный – семантический подходы) обеспечивает комплексный характер работы и позволяет рассматривать поэтические тексты как сложные знаковые системы, взаимодействующие с инокультурным материалом на разных уровнях – от тематического до глубинного метафизического.

Результаты. Проблема авторской концепции мировой истории и культуры в творчестве Даниила Андреева состоит в сложной составляющей подхода данного представителя поэзии к проблемам мира. Даниил Андреев, поэт-мистик, чья одаренность очевидна, подарил человечеству не просто стихи, а грандиозную модель истории культуры - внутренне непротиворечивый комплекс идей, настроений и философем. В центре его построений - триада Россия-Запад-Восток, которую он видит не как противостоящие силы, а как связанные единой целью "созидательные органы" человечества. Интуиция Андреева – это дар большого художника и проникновенного лирика, чутко улавливающего "музыку сфер" и грядущие токи истории. Его творчество рождает особую оптику восприятия мира, существующего в неразрывном единстве вертикали (духовного устремления) и горизонтали (земного бытия). Облекая жизненные факты в притчевые формы и мифологические образы, Андреев приходит к прозрениям, чья глубина и точность убедительно свидетельствуют о самобытности и мощи его мировидения. М.Н. Эпштейн, говоря о необычайной талантливости поэта, сравнивал его поэтическое мастерство с «дантовской мощью потусторонней фантазии» [3, с.458], имея в виду необыкновенный художественный мир поэта, его способность видеть в окружающей действительности редкие откровения и открытия, помогающие осознать имплицитные ракурсы искусства. В поэзии Даниила Андреева важнейшую структурную и смыслообразующую роль несет художественный дискурс «рефлексии над собственными и «чужими» текстами» [4, с. 213]. В этом плане, понимание иных поэтических систем миросознания для него, это главный «способ познания иных реальностей и метаисторического смысла событий» [4, с. 317]. Поэт в своем обращении к Востоку проникает в него настолько деликатно, что создается впечатление, что он работает не с чужим, а очень важным и личностно близким материалом.

Интерпретация Востока в творческом сознании Даниила Андреева отличается исключительной сложностью и внутренней многогранностью. Будучи ярким представителем переломной исторической эпохи, поэт в силу особенностей своей духовной организации оказался с ней неразрывно связан, тонко чувствуя ее кризисный характер. Эта глубинная связь стала источником его уникальной способности к многомерному и проникновенному восприятию действительности. Что же касается его целостного, всепроникающего мировосприятия, то главным было объяснение данного мира, возможность диалога и объединения разрозненных звуковых и смыслообразующих пространств, объединенных в единое понимание Востока. Проникая в его глубь, Д.Андреев пытался раскрыть важную суть этой части света, углубляясь в специфичность и непохожесть географического пространства, оставлял достаточно серьезные размышления по этому поводу. Ценность анализа историко-культурной концепции Даниила Андреева заключается в возможности проследить взаимосвязь между эмпирической реальностью и трудно формализуемой областью интуитивного знания. Исследовательская задача состоит в том, чтобы сквозь призму его имплицитной картины

мира увидеть авторское сознание, декодируя не только внутреннюю связность его лирических построений, но и те особенности восприятия, что стали почвой для столь масштабной поэтической репрезентации. Характерно, что в немногочисленных, но емких мемуарных зарисовках люди из его окружения особо выделяли глубину и фундаментальную серьезность, которыми была пронизана вся его жизнь. Именно его миросозерцание не исключало возможности взглянуть на мир, как на целое. О нем часто говорили, как о человеке, способном подняться над вершинами духа, соотнося его творчество с поразительными картинами и пророческими видами мира. Метафилософские картины его главной книги жизни «Роза Мира» [5] поднимаются до высот «Божественной комедии» и противопоставляют ей трагическое миропонимание, которое давало возможность к осознанию данного континуума пространства. Будучи всю жизнь православным христианином и считая религию важным смыслообразующим началом жизни человека, Д.Андреев много внимания уделял осмыслению духовного опыта человечества.

В связи с этим пристального внимания заслуживает трактовка ислама, предложенная Андреевым в «Розе Мира». Причисляя его к «религиям правой руки» на основании наличия в нем божественного откровения, автор также выделял центральную роль Пророка Мухаммада (мир ему и благословение), подчеркивая его уникальное положение и указывая на то, что «не подлежат сомнению ни религиозная гениальность Мухаммеда, ни его искренность, ни его вдохновленность высокими идеалами, ни та особая огненная убедительность его проповеди, которая заставляет признать в нем подлинного пророка, то есть вестника мира горнего» [5, с. 247]. Подобные умозрения придают поэтической репрезентации мусульманского Востока у Андреева характер, отмеченный напряженной дуальностью, конфликтующими элементами и разнонаправленными векторами. Творческое сознание поэта схватывало мир во всей его целостности, не умаляя силы внутренних коллизий. Через призму глубины и неординарности судьбы исламского Пророка ему удалось с удивительной точностью выразить фундаментальный дуализм, пронизывающий как микрокосм человеческой личности, так и макрокосм мироздания: «я уходил за городскую стражу, // С моим народом навсегда порвав» [6, с. 153]. Во всем творчестве поэта четко прослеживается тенденция амбивалентности Мухаммада (САВ): он - Пророк, святой в религиозном учении Востока, с другой стороны, он описывается вполне земным человеком, проходящим целый ряд сложных жизненных перипетий.

На этом противоречии и возведена вся грандиозная концепция мировой истории культуры Андреева, в сердцевине которой - драма безысходности и надежда возрождения, вселенский провал и искупительное воскресение человечества. Россия, Запад и Восток - три главных актора этой драмы, каждый из которых выполняет свою судьбоносную миссию в разрешении центрального конфликта.

Глубоко религиозный мыслитель, Андреев мучительно воспринимал трагическую убыль мощи мира, его духовное и материальное оскудение. И в этой картине именно Восток наделен ролью роковой, грозной и необходимой силы, вызову которой обязана своим преображением Россия: лишь в противоборстве с ним она отстаивает право на грядущее, а русский человек, преображаясь, внутренне усваивает сам образ Востока. Почему же в историософской конструкции Андреева Востоку отведена столь важная роль вечного катализатора? В рамках нашего анализа мы намерены продемонстрировать, каким образом, преломляя реальную историческую почву, Андреев творит свой особый, иррациональный мир восточных феноменов. Этот образ Востока - не застывшая догма, а

живая, динамичная и целостная система. Поэтические подходы Андреева к исследованию данной темы продиктованы фундаментальной потребностью самого автора в декодировании уникальной природы восточного культурного ареала.

Эстетическое и духовное богатство Востока – его полихромная яркость, орнаментальная сложность и глубины мусульманской мысли – стали органичным и мощным источником его творчества. Эволюционируя на протяжении лет, представления поэта синтезировали в себе совокупность культурных наблюдений и его собственную религиозную рефлексию. Наиболее значительным воплощением этого синтеза стал цикл «Голоса веков», задуманный как поэтическая интерпретация ислама и его священного Писания.

Фундаментом для стихотворения «Серебряная ночь Пророка» послужил коранический нарратив о ночном путешествии и вознесении (аль-Исра валь-Миградж) Пророка Мухаммада (САВ). Тема достаточна важна и серьезна и с точки зрения мусульманской апологетики, так как разрешает очень много вопросов, связанных с рядом религиозных исламских канонов и предписаний. В мусульманских историях о Мирадже говорится, что эта ночь предопределила многое в судьбе Мухаммада (САВ). В эту ночь архангел Джибриил (Гавриил) перенес Пророка из Мекки в Иерусалим для того, чтобы он узрел великую и удивительную мощь Всевышнего. Это чудесное событие предварено яркими историями: снисхождение ангела, рассечение груди, обмывание сердца водой источника Зам-зам, наполнение верой, появление молниеносного Бурака, пустыня, звезды, остановки и совершение ракатов намаза в сакральных местах (Медина, дерево пророка Мусы (Моисея), место рождения пророка Исы (Иисуса)), мечеть Аль-Акса, совершение коллективного намаза, подъем и поэтапное прохождение всех семи небес, знакомство и приветствия Пророков, встреча с Аллахом, предписания народу Мухаммада (САВ). Эту почитаемую в мусульманстве ночь в исламе называют ночью Вознесения или аль–Исра валь Мирадж. Сам Мирадж воспринимается как оказание глубокого уважения и почета последнему из всех Божьих Пророков на Земле – Мухаммаду (САВ). О важности этой ночи в священном Коране говорится в 17 и 53 сурах, которые передают непререкаемую ценность этого события. Если определить генеральный вектор формирования образа у Даниила Андреева, то его можно описать как движение от частного историко-религиозного факта - ночного путешествия Пророка (Исра и Мирадж) к созданию универсальной, символически нагруженной категории. Этот образ подвергается постоянной смысловой экспансии за счет нарастающей коннотативной насыщенности, что в конечном итоге углубляет и расширяет его информационно-семантический потенциал.

К сюжету о Мирадже Пророка Мухаммада (САВ) апеллировали многие представители русской классической литературы (А.С. Пушкин, Ф.М. Достоевский, И.А. Бунин), усматривая в данном кораническом нарративе ключ к поэтической интерпретации фигуры исламского Пророка.

Наиболее ярко эта тенденция воплотилась в стихотворении А.С. Пушкина «Пророк», где актуализируется фундаментальная для мировой культуры тема «Поэт-Пророк». Еще в 1815 году, в период обучения в Царскосельском Лицее, знакомясь с публикациями в «Вестнике Европы», Пушкин знакомится с ориенталистской статьей А. Болдырева «Могаммедово путешествие на небо» [7]. В этом тексте в доступной форме излагались обстоятельства ночного путешествия (аль-Исра) Пророка Мухаммада (САВ) в Иерусалим и его вознесения (аль-Миградж) к Престолу Аллаха. Болдырев отмечает и детализирует в статье «обряд очищения Пророка» и говорит, что перед началом Мираджа

явившийся Пророку архангел Джибраил (Гавриил) «вынимает из груди его сердце, выжимает из него черную каплю – начало прародительского гнева, моет оное, наполняет верою и познанием и потом кладет его на прежнее место» [7]. Мистический пафос этого описания оказал мощное воздействие на творческое сознание юного Пушкина и становится материалом, которому Пушкин дает свою интерпретацию. Создавая образ «Пророка-Поэта», Пушкин пользуется отдельными эпизодами из информации о мусульманском Пророке. Совершая это творческое преломление, Пушкин производит знаковую замену: канонический для исламского предания архангел Гавриил уступает место мощному библейскому образу - «шестикрылому Серафиму»:

«Духовной жаждою томим,
В пустыне мрачной я влачился, -
И шестикрылый серафим
На перепутье мне явился…»

Этот ход позволяет поэту вывести тему пророчества за рамки конкретной религии, придав ей общечеловеческое, метафизическое звучание. Пушкинские интуиции о сложном пути пророка обретают здесь новое дыхание. Творчески ассимилируя идеи из Священных Писаний - как Библии, так и Корана, - Пушкин фокусируется на глубинных, сущностных параллелях. Тщательное изучение жизнеописаний святых и пророков дает ему ключ к распознаванию той едва уловимой грани, что разделяет прямое божественное откровение пророка и высшее озарение поэта. Пушкинский Пророк предстает в качестве синтезирующего образа, вобравшего в себя характерные черты божественных посланников различных традиций и воплощающего идею высшей, духовной правды. Поэт утверждает сакральный статус творца, осознающего божественную предопределенность своего пути, что и обуславливает уникальную семантическую наполненность данного персонажа.

Таким образом, Пророк у Пушкина – это не просто стихотворец, но именно Божий избранник, носитель откровения, чья миссия - нести человечеству свет истины.

Обнаруживая существенные типологические схождения с жизнеописанием Пророка Мухаммада (САВ), мы можем утверждать, что Пушкин сознательно заимствовал ряд ключевых реалий из истории исламского Пророка, поскольку мир мусульманской духовности органично вписывался в его творческий универсум. В результате поэт конструирует единое метафизическое пространство, объединяющее библейские и коранические истины. Центральной для него становится задача гармоничного соединения этих двух фундаментальных текстов человеческой цивилизации.

Анализ профетических традиций позволяет выдвинуть гипотезу о том, что наряду с библейскими источниками, существенное влияние на создание торжественного текста Пушкина оказали конкретные коранические суры. В качестве смысловых ориентиров могли выступать: сура 97 «Аль-Кадр» (аят 4): «В эту ночь нисходят ангелы и Дух [Джибрил] с дозволения Господа их для всяких повелений» - утверждающая тему нисхождения божественного откровения. В суре 96 «Аль-Аляк» (аяты 3-5) актуализируются мотивы божественного приказа к провозглашению знания: «Читай, ведь твой Господь - Самый великодушный. Он научил посредством письменной трости. Научил человека тому, чего тот не знал». В 74 суре «Аль-Муддассир» (аяты 1-3) передаются идеи бремени пророческой миссии и призыва к публичной проповеди: «О

закутавшийся! Встань и увещевай! И Господа твоего величай!» Пушкин создает свое видение важных истин:

Как труп в пустыне я лежал,
И бога глас ко мне воззвал:
«Восстань, пророк, и виждь, и внемли,
Исполнись волею моей,
И, обходя моря и земли,
Глаголом жги сердца людей»

Отзвуки восточной поэзии и Корана живут во многих произведениях поэта, его понимание важности и необходимости ценностной красоты добрых взаимоотношений людей, выделяются сокровенностью мысли и глубиной содержания идеи.

Ф.М. Достоевский в своем творчестве тоже демонстрирует удивительно бережное и вдумчивое отношение к мотивам, идущим от исламской культуры. Для писателя каждая деталь становится важным семантическим узлом, связывающим мусульманские предания с христианскими параллелями. Яркий пример - отсылка к мираджу во второй части «Идиота», где, описывая состояние князя Мышкина, Достоевский раздвигает привычные границы пространства-времени: «Вероятно, - прибавил он, улыбаясь, - это та же самая секунда, в которую не успел пролиться опрокинувшийся кувшин с водой эпилептика Магомета, успевшего, однако, обозреть все жилища Аллаховы» [9, с. 257]. Ощущение времени, сродное эпилептическому припадку (который сам автор считал «священным»), становится для Достоевского ключом к пониманию дара пророческих переживаний, ниспосланного Мухаммаду (САВ). Мука от болезни оборачивается, по его мысли, благодарностью за уникальную способность прикоснуться к иным мирам.

Исследователь П.В. Алексеев видит в «мотиве кувшина Магомета» актуализацию проблемы разграничения внутреннего и внешнего времени: «пророк совершил «горизонтальное» путешествие из Мекки в Иерусалим, а оттуда «вертикальное» - на спине крылатого животного на небо... и все это за такое короткое «внешнее» время, что, вернувшись, Магомет успел остановить падение кувшина…» [10, с. 9]. Таким образом, Достоевский не просто заимствует сюжет, но дает его глубоко личное, экзистенциальное прочтение, выходящее за рамки любых литературных клише.

И.А. Бунин, по мнению П.И. Тартаковского, развивает в своем творчестве «гуманистическую идею исторической связи Востока и Запада» [2, с. 19]. Его сила - в уникальном сочетании глубоко личного переживания и блестящего художественного воплощения сложных мотивов, навеянных Кораном. В очерках «Тень птицы», создавая свой образ Палестины, Бунин с потрясающей пластичностью описывает мечеть Омара, которая «цветет над нищей и нагой Иудеей во всем богатстве и великолепии своих палевых кафель, голубых фаянсов, черно-синего купола, громадного мраморного двора и тысячелетних кипарисов» [11, с. 60].

Это не просто живописание достопримечательности. Через зримую, почти осязаемую красоту и строгость линий Бунин подводит нас к осознанию вечных истин, скрытых в основе миропорядка, демонстрируя, как эстетическое переживание рождает экзистенциальное прозрение.

Эта мечеть – знаковое явление в истории религий мира, ее называют «Куббат ас-Сахра» («Купол Скалы»), а скала Мориа встречается во всех библейских, мусульманских и талмудических преданиях. Бунин очень осторожно подходит к

осознанию этой общности миров, тонко очерчивая грани возможных прикосновений: «Камень Мориа, скала, на которой первый человек принес первую жертву Богу, есть средоточие мира. Скалу Мориа, что была некогда покрыта храмом Соломона, а ныне хранима мечетью Омара, положил в основание вселенной сам Бог» [11, с.62]. Бунин создает целое аналитическое предписание по поводу данной святыни, раскрывая ее особенное воплощение в трех основных религиозных толкованиях. «В Иерусалиме бог сказал скале: ты – основание, от коего начал я создание мира.… От тебя воскреснут сыны человеческие из мертвых» [11, с.63]. «Магомет – в ночь своего путешествия из Медины в Иерусалим на верблюдице Молнии – стал своей священною стопою на скалу Мориа, раскачивающуюся между небом и землею. Был взмах, почти достигший врат рая, - и Скала издала крик радости. Но пророк повелел ей молчать – и вошел во врата рая. А скала вновь пала к земле - и вновь вознеслась – и в движении своем пребывает и доныне: не мешаясь с прахом и не смея преступить неба» [11, с.63]. «Кабалистические книги говорят: Адонаи-господь воздвиг в Бездне Камень и начертал на Камне имя святое…» [11, с.63]. В священном Коране об этом сказано следующее: «Слава тому, кто ночью перенес своего служителя из святого храма в Мекку в далекий благословенный нами храм Иерусалимский и показал чудеса наши. Бог слышит и видит все» (Коран, 17:1) [12, с.264]. Бунин, создавая почти полную соотнесенность со Священным Кораном, подчеркивает особое единство ветхозаветной, библейской и исламской веры, что в данном тексте находит яркое подтверждение. Учет подобных «диалогических отражений христианских и исламских мотивов и образов в творчестве русских поэтов и писателей актуален и важен для формирования новых культурологических акцентов и аспектов, преодоления методологических издержек европоцентризма и христоцентризма в характеристике русской словесности. Такой подход определяется необходимостью преодоления моноконфессионального принципа в интерпретации духовной природы русской культуры и литературы, утверждения ценностных ориентиров и идеалов, несовместимых с проявлениями национальной и конфессиональной нетерпимости» [13].

Обсуждение. Даниил Андреев, подобно своим предшественникам, тоже создает некий опыт сопереживания, когда в одном поэтическом восприятии момента оказываются два сознания: Пророка и Поэта. Важно констатировать, что Д.Андреев уходит от предвзятости в описании Востока, его не интересуют и не вдохновляют яркие картины и экзотика арабского Востока, он пытается увидеть внутреннюю суть проблемы, прочувствовать сам опыт путешествия Пророка, его мираджа и «полета» к Престолу Господню. Преодоление границ мира, духа, отрыв от «плоти и свинцового плена» [6, с. 152], где «над белоснежною Меккою» [6, с.150] - обозначение важности пространства, внутри которого так существенны выбранные эпитеты, «звезды вонзают в душу тысячи звонких жал...» [6, с. 150] – мир божественного предопределения. Поэту важна структурированность созданного, постепенно, словно из глубины веков Востока выходят образы: «благоговейный трепет сердце Пророка сжал», «шум непомерных крыл», «конь с человечьим ликом», «сирийский ветер», «первые небеса» [6, с. 151].

Д. Андреев словно расширяет границы видимого, наполняя пространство новыми ощущениями и реалиями: «иерархии гигантские ширятся впереди» [6, с. 151]. Сам поэтический текст наполнен особой семантикой, внутри которой чувствуется таинственная связь веков. Текст отличает почти фотографическая точность в изображении святынь, глубокая роскошь в описании восточной ночи: «звезды вонзают в душу тысячи острых жал» и пустынного зноя: «сирийский ветер душит». Здесь очень важно отметить умение Андреева чувствовать и отражать специфику восточного. Его

понимание глубины и значимости исламских мотивов показывают тонкое чутье художника. В данном произведении, поэт воссоздает ряд текстовых коранических реалий. Д. Андрееву удается передать важность ситуации, он структурирует время, сжимает его подобно удивительному и божественному хронотопу Корана, и мы видим только лишь констатацию перечисления фактов, внутри которой прослеживается и угадывается множественность событий текста: «конь с человечьим ликом, десятикрылый гонец», «спящий Иерусалим», «уединенный храм», «ждут Моисей и Христос», «Первые небеса», «последнее Небо», «глагол непреклонный звал», «скрывают лицо Аллаха семьдесят покрывал», «голос, как ста водопадов шум» [6, с. 151] и т.д. Специфичность момента – в множественности сакральных событий.

Уникальность данного текста в глубине прочувствования материала, где поэт создает свое видение момента, наполненное божественным и предопределяющим смыслом. В данном тексте «Серебряная ночь Пророка» все дышит глубинным мироощущением могучего оживляющего слова Пророка Мухаммада (САВ), за которым угадывается и пушкинское:

«Как опоясанный громом,
И молниями
Самум:
Восстань и гряди, избранник, вдоль всех городов и стран,
Провозглашай народам
Мой истинный Аль-Коран!» [6, с. 151]

Так, в стихотворении Д. Андреева, поэт понимает и принимает важное пушкинское утверждение необратимости пути Пророка, и в его тексте «Восстань и гряди, избранник, вдоль всех городов и стран, /Провозглашай народам мой истинный Аль-Коран!» [6, с. 151] слышится пушкинская цитата: «Восстань Пророк, и виждь, и внемли, / Исполнись волею Моей, / И, обходя моря и земли, / Глаголом жги сердца людей» [14, с. 385].

Д. Андреев, практически создает свое понимание данной коранической истории, внутри которой скрыто явление глубокого поэтического ряда. Он интуитивно владеет образным рядом языка, создавая незаметную параллель единства понимания. Нарочитое сгущение в употреблении пушкинского элемента «Восстань» делает его заметным, структурно активным. Этим достигается эффект важности фразы, имитируется организованность, простота, естественность текста. Здесь глубок и важен контекст, сама картина, размышление о сущности мироздания: «Звезды, летящие вверх… Гаснущие голоса…» [6, с. 152].

Поэту важна определенная художественная функция употребляемых им лексических единиц. Все слова оказываются сгруппированы в определенные семантические ряды космического пространства: «Иерархии гигантские ширятся впереди: между очами ангела – тысячи дней пути…» [6, с. 153]. Текст включает в себя некоторые последовательности, производящие впечатления избранной необычности. Здесь нет особой предрасположенности к детальной прорисовке образа, автор создает некоторое семантическое целое, включающее пересечение областей значений этих слов и создает связанный ряд огромности данного космического пространства.

По силе поэтического воздействия и по глубине проникновения, Д. Андреев создает космическое обозначение видения текста Корана. Он понимает, что Книга Священного Писания в сжатой, лаконично глубокой форме со специфичной коранической ритмикой

и пластической образностью, создает мир важнейших предписаний человечеству. Отсюда и вдумчивая работа поэта по реконструкции коранического текста. Поэт работает с образной канвой 17 суры Корана «Перенес ночью»: «Пречист Тот, Кто перенес ночью Своего раба, чтобы показать ему некоторые из Наших знамений, из Заповедной мечети в мечеть аль-Акса, окрестностям которой Мы даровали благословение. Воистину, Он - Слышащий, Видящий» (Коран, 17:1). Андрееву важен, с нашей точки зрения, арабский Восток, бытовые реалии которого являются олицетворением Мекки с ее особенным мироустройством и миропониманием: «дух песков накаленных, «благоговейный трепет Пророка», «конь с человечьим лицом», «сирийский ветер», «путешествие в Иерусалим», «первые небеса», «скрывают лицо Аллаха семьдесят покрывал» [6, с.151-153]. О покрывале, упомянутом в тексте Д. Андреева, Священный Коран утверждает: «Когда ты прочел Коран, Мы воздвигли между тобой и теми, кто не верит в Последнюю жизнь, невидимую завесу. Мы набросили на их сердца покрывала, дабы они не могли понять его (Коран), и лишили их уши слуха. Когда ты поминаешь в Коране своего Единственного Господа, они отворачиваются, испытывая к этому отвращение» (Коран, 17:45-46). Д. Андрееву удается приблизиться к пониманию единичности момента в истории мусульманской религии, прочувствовать важность ситуативного явления. Д. Андреев работает исходя из знаковой природы данного события, представляя глубину культурно-исторической и семиотической парадигмы периода. Коранический мотив, предельно обоснован и убедителен у Андреева.

Подчеркнутая в каждом эпизоде привязанность к окружающему миру, его особенность, пустынность, одиночество, маркированное отсутствием других фигур - актуализируют тему поиска выхода появлением ряда событий: «шум непомерных крыл», «конь, десятикрылый гонец, с человечьим ликом» «мчит Пророка на север», «хлещет сирийский ветер», «сходит ночной наездник в спящий Иерусалим» [6, с.151]. Нарративом транслируется и ответ, нарастание действия - молитва в храме, подъем на небеса, лицезрение Аллаха через «семьдесят покрывал», голос Бога - «ста водопадов шум», «опоясанный громом и молниями самум». Пройдя сложные трансформационные этапы, герой из пассивного наблюдателя превращен в Пророка, это подтверждают завершающие строки художественного текста. Семантика данной предлагаемой логики событий, представлена как тягостное завершение пути от «звезд, летящих вверх», до «гаснущих голосов», «плоти свинцовый плен». Такая широта использованных художественных средств позволяет предположить, что смыслы художественного восприятия Д. Андреевым транслированы максимально полно и выражают понимание поэтом специфичности Пророческого пути.

Модальный вектор развития данного стихотворного текста выполняет в его образной системе структурообразующую функцию. Он определяет не просто тему, но сам способ бытия лирического героя в мире, задавая систему координат, в которой возможны пророческое откровение, преодоление земных пределов и встреча с божественным: «всякий рассказ, картина, стихотворение есть, конечно, сложное целое, составленное из различных совершенно элементов, организованных в различной степени, в различной иерархии подчинений и связи; и в этом сложном целом всегда оказывается некоторый доминирующий и господствующий момент, который определяет собой построение всего остального рассказа, смысл и название каждой его части» [15, с.112]. Определённая заданность тематики и развития поэтической сюжетной линии позволяет понять и сложность заключения андреевского текста, внутри которого выявляется определенная недосказанность, загадочное многоточие:

По-прежнему бдит над Меккой
белой кометы хвост,
Дух песков остывающих
и острых могучих звезд…

Текст формально имеет определенное ощущение недосказанности полёта мысли автора над действительностью, где через фразу «по-прежнему» мы считываем информацию о выделении момента поэтом, подчеркивании им важности места и пространства происходящего. В живом организме поэтического текста язык никогда не остается статичным: значения уточняются, формы преодолеваются, слова обретают новые смысловые выражения, чтобы полнее выразить мысль и чувство автора. Этот процесс и рождает ту самую концентрацию поэтического чувства, которая позволяет выделить и зафиксировать самый важный, кульминационный момент.

Сюжет здесь выстроен не просто по законам причинности, но и подчинен внутреннему, почти благоговейному отношению автора к священной основе повествования. И подобно тому, как первый аккорд задает все звучание музыкальной пьесы, начальные строки определяют эмоциональный строй и «звуковой ландшафт» всего произведения.

Уже в первых, бесстрастно-величавых строках: «Над белоснежною Меккою – / гибкий кометы хвост, // Дух песков накаленных / И острых могучих звезд…» [6, с.151] – звучит не просто описание, а философское обобщение. Эта возвышенная интонация рождена пониманием поэтом всей глубины и противоречивости коранического сказания, в котором заключены общечеловеческие истины высочайшего нравственного накала.

В «Палестинской мелодии» Даниил Андреев творит свой собственный, глубоко личный образ Святой земли - Палестины, осмысляемой им как уникальное пространство диалога трех великих религий. Напряженность этого образа сфокусирована в ключевом символе: «над Галилеею грустной руки воздел муэдзин» [6, с.152], который становится точкой сборки всего поэтического пространства.

Первообраз Палестины у Андреева рождается из сплава поэтических переложений восточных легенд, действие которых разворачивается на земле Ханаана. Эта Обетованная земля предстает в двойном свете. Это и воспетые поэзией Вифлеем, Кана, Дамаск - оазисы вечного бытия, земного рая, и одновременно - места, где вечно нарушаются Законы Божьи, что вкупе с множеством нравственных противоречий служит почвой для страшных трагедий, разыгрывающихся у самых алтарей.

Андреева в этом нарративе захватывает прежде всего его нравственно-этический нерв, та психологическая мощь, что позволяет ощутить объединяющий стержень разных традиций и через это проникнуть в сокровенную суть Востока.

Поэтическая реконструкция Святой земли у Даниила Андреева представляет собой не просто описание, а диалогическую модель, выявляющую проблемы и потенциал сосуществования различных религиозных систем. Автор сознательно дистанцируется от догматических рамок, находя эстетическое и духовное значение в полифонии восточного мира: «звуках вечерних минаретов», «розовых миражах Дамаска», «разноликих толпах», что свидетельствует о его стремлении к синтезу религиозного и художественного начал.

Ключевые концепты («Алла-иль-Алла», «вечно священные камни») лишены у Андреева оттенка экзотики; они функционируют как органичные элементы художественного универсума, передающего подлинность восточного миросозерцания. Поэт создает систему «возвышенного» и «святого», где Восток предстает не как объект,

а как смыслопорождающее пространство, требующее распознавания и диалогического принятия.

Заключение

Проведённое исследование показало, что обращение Д.Л. Андреева к восточной, в особенности коранической, тематике не является экзотической стилизацией или данью ориентальной моде. Напротив, поэт реализует глубинную метафизическую стратегию, в рамках которой «чужой» религиозно-культурный материал перестаёт быть внешним по отношению к авторскому сознанию и становится органической частью его художественного мира.

Восток в творчестве Андреева становится местом метафизической силы, осмысляемым через призму трагического историзма. Уникальность его подхода определяется системообразующей ролью синтаксической организации и внутренней формы текстов, которые не просто описывают, а конституируют особое восприятие реальности. Это позволяет поэту выстраивать целостную модель диалога культур, основанную на нравственных доминантах и глубоком проникновении в мир коранических концептов.

Таким образом, образ Востока у Д. Андреева – это форма художественно-философского сопереживания, определяющая его концепцию мировой истории культуры. Через персонификацию лирического опыта и актуализацию исторической памяти поэт создает единое ассоциативное пространство, где прошлое и настоящее, Запад и Восток сходятся в точке вечного диалога и совместного поиска истины. На этом основании в творчестве Андреева происходит ключевое событие: растворение границ между Востоком и Западом, между вчера и сегодня. Поэт создает уникальную модель «двухмерного» времени, и из этого сплава рождается центральная идея его взгляда на историю культуры. В рамках этой идеи Восток получает особую миссию - быть катализатором возрождения и воскресения, возвращения вечных ценностей в сердцевину современности. Образ Востока в этой системе не просто расширяется - он обретает новую онтологическую глубину, становясь структурным элементом многогранной вселенной Андреева. При этом необходимое противостояние-диалог с Востоком осмысливается поэтом не как угроза, а как шанс русской культуры на внутреннее преображение, пробуждение ее дремлющих сил и исполнение ее высшего предназначения. Цельность, глубина и удивительная прозорливость этой культурно-исторической концепции позволяют с уверенностью утверждать: наследие Андреева-мыслителя представляет собой не менее ценный дар, чем его поэтическое творчество, и заслуживает самого пристального изучения.

Полученные результаты позволяют утверждать, что Андреев не просто заимствует восточные образы, а создаёт самостоятельную художественную модель, обладающую эвристическим потенциалом для понимания межкультурного диалога. Выявленные принципы адаптации «чужого» материала могут быть применены к анализу других примеров ориентальной поэзии. Дальнейшее изучение динамики творчества Андреева в аспекте его взаимодействия с восточной традицией представляет как научный, так и практический интерес для развития имагологических исследований в современном литературоведении.

Литература:

1. Потебня А.А. Мысль и язык. –М., 1999. - 268 с.
2. Тартаковский П.И. «Арабский цикл» Ивана Бунина // Тартаковский П.И. Русские поэты и Восток. - Ташкент: ТГПИ, 1986. – С. 3-42.
3. Эпштейн М.Н. Слово и молчание: метафизика русской литературы. – М., 2006. - 559 с.
4. Романов Б.С. Путешествие с Д. Андреевым: книга о поэте-вестнике. – М., 2006. - 440 с.
5. Андреев Д.Л. Роза мира. Собр. соч. в. в 4 т. – М., 1995. - Т. 2. - 492 с.
6. Андреев Д.Л. Серебряная ночь Пророка. Палестинская мелодия. // Гаврилов Ю.А., Шевченко А.Г. Взаимопроникновение культур. Коран в русской поэзии. - М.: Наука, 2006. – 180 с.
7. Указатель исторических статей, помещенных в журналах: «Вестник Европы», «Русская мысль», «Русское богатство», «Мир Божий», «Современный мир», «Образование» (за 1801–1908 гг.) [Электронный ресурс] // Российская государственная библиотека. – URL: https://search.rsl.ru/ (дата обращения: 02.09.2026).
8. Аль-Коран аравлянина Магомета / пер. с араб. М. Веревкина. – М., 1790. – Ч. 2 [Электронный ресурс] // Викитека. – URL: https://ru.wikisource.org/wiki/Индекс:Аль-Коран_аравлянина_Магомета_(пер._М._Веревкина,_1790)_–_часть_2.pdf (дата обращения: 02.09.2026).
9. Достоевский Ф.М. Идиот // Собрание сочинений: в 10 т. – М.: Гослитиздат, 1957. – Т. 6. – 735 с.
10. Алексеев П.В. Мусульманский Восток в поэтике Ф. Достоевского [Электронный ресурс] // Academia.edu. – URL: https://www.akademia.edu/ (дата обращения: 02.09.2026).
11. Бунин И. Камень. Собр.соч. в 4 т. Т. 2. - М., 1988. - 590 с.
12. Коран Магомета / новый пер. с араб. текста М. Казимирским; пер. с фр. К.А. Николаева. – М.: М.В. Клюкин, [1901]. – 588, [20], XVI с. [Электронный ресурс] // Национальная электронная библиотека (НЭБ). – URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_v19_rc_1736910 (дата обращения: 02.09.2026). – С. 264.
13. Ислам и русская классическая литература [Электронный ресурс] // Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?id=42474758 (дата обращения: 02.09.2026).
14. Пушкин А.С. Пророк // Сочинения: в 3 т. / под ред. Д.Д. Благого. – М.: Художественная литература, 1985. - Т. 1. – 735 с.
15. Выготский Л.С. Психология искусства. – М.: Искусство, 1986. - 574 с.

References:

1. Potebnya, A.A. (1999). Mysl′ i yazyk [Thought and Language]. - Moscow. - 268 p.
2. Tartakovskiy, P.I. (1986). "Arabskiy tsikl" Ivana Bunina [Ivan Bunin's "Arabic Cycle"]. In P.I. Tartakovskiy, Russkie poety i Vostok [Russian Poets and the East] (pp. 3–42). - Tashkent: Tashkent State Pedagogical Institute (TGPI).
3. Epshteyn, M.N. (2006). Slovo i molchanie: metafizika russkoy literatury [Word and Silence: Metaphysics of Russian Literature]. - Moscow. - 559 p.
4. Romanov, B.S. (2006). Puteshestvie s D. Andreevym: kniga o poete-vestnike [Journey with D. Andreev: A Book about the Poet-Messenger]. - Moscow. - 440 p.
5. Andreev, D.L. (1995). Roza mira [Rose of Peace]. In Sobranie sochineniy: v 4 t. [Collected Works: in 4 Vols.] (Vol. 2, 492 p.). Moscow. (Comp. and text prep. by A. Andreeva).
6. Andreev, D. L. (2006). Serebryanaya noch Proroka. Palestinskaya melodiya [The Prophet's Silver Night. Palestinian Melody]. In Yu.A. Gavrilov & A.G. Shevchenko (Eds.), Vzaimoproniknovenie kul′tur: Koran v russkoy poezii [Mutual Penetration of Cultures: The Qur'an in Russian Poetry] (p. 180). - Moscow: Nauka.
7. Ukazatel′ istoricheskikh statey, pomeshchennykh v zhurnalakh: "Vestnik Evropy", "Russkaya mysl′", "Russkoe bogatstvo", "Mir Bozhiy", "Sovremennyy mir", "Obrazovanie" (za 1801–1908 gg.) [Index of Historical Articles Published in the Journals: "Bulletin of Europe," "Russian Thought," "Russian Wealth," "World of God," "Modern World," "Education" (for 1801–1908)]. (n.d.). Russian State Library. Retrieved September 2, 2026, from https://search.rsl.ru/

8. Al′-Koran aravlyanina Magometa [The Qur'an of the Arab Muhammad]. (1790). Pt. 2. (Trans. from Arabic by M. Verevkin). Retrieved September 2, 2026, from https://ru.wikisource.org/wiki/Индекс:Аль-Коран_аравлянина_Магомета_(пер._М._Веревкина,_1790)_-_часть_2.pdf
9. Dostoevskiy, F.M. (1957). Idiot [The Idiot]. In Sobranie sochineniy: v 10 t. [Collected Works: in 10 Vols.] (Vol. 6, 735 p.). - Moscow: Goslitizdat.
10. Alekseev, P.V. (n.d.). Musul′manskiy Vostok v poetike F. Dostoevskogo [The Muslim East in the Poetics of F. Dostoevsky]. Academia.edu. Retrieved September 2, 2026, from https://www.akademia.edu/
11. Bunin, I.A. (1988). Kamen′ [The Stone]. In Sobranie sochineniy: v 4 t. [Collected Works: in 4 Vols.] (Vol. 2, 590 p.). - Moscow.
12. Koran Magometa [The Qur'an of Muhammad]. (1901). (New trans. from Arabic by M. Kazimirsky; trans. from French by K.A. Nikolaev; rev., corr., and suppl. ed.). Moscow: M.V. Klyukin. 588, [20], XVI p. Retrieved September 2, 2026, from National Electronic Library (NEL), https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_v19_rc_1736910 (p. 264).
13. Islam i russkaya klassicheskaya literatura [Islam and Russian Classical Literature]. (n.d.). Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU. Retrieved September 2, 2026, from http://elibrary.ru/item.asp?id=42474758
14. Pushkin, A.S. (1985). Prorok [The Prophet]. In Sochineniya: v 3 t. [Works: in 3 Vols.] (Vol. 1, 735 p.). - Moscow: Khudozhestvennaya literatura. (Ed. D.D. Blagoy).
15. Vygotskiy, L.S. (1986). Psikhologiya iskusstva [Psychology of Art]. - Moscow: Iskusstvo. - 574 p.

Information about the authors

A. Kh. Rakhmanova – Doctor of Philological Sciences (Dsc), Navoi State University, Navoi, Uzbekistan; e-mail: alya211@list.ru; ORCID: 0000-0002-1388-6766;
N.N. Ochilova – a lecturer at the Department of Russian Language and Literature at the Pedagogical Institute, Samarkand, Uzbekistan; ORCID: 0009-0006-8345-6119.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Название: научный журнал «М. Қозыбаев атындағы СҚУ Хабаршысы / Вестник СКУ имени М. Козыбаева».

Собственник: Некоммерческое акционерное общество «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева».

Свидетельство о постановке на переучёт: № KZ66VPY00102049, выдано Министерством информации и общественного развития РК от 26 сентября 2024 г.

ISSN 2958-0048 (Online)
ISSN 2958-003X (Print)

Основная тематическая направленность: публикация научно-методической информации.

Язык публикаций: казахский, русский, английский языки.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ:

1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

(география и природопользование; информатика, математика-информатика, математика-физика; физика и физическая экспертиза, физика и астрономия, астрономия и методы дистанционных исследований; химическая экспертиза и аналитический контроль производства, химическая технология органических веществ).

2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

(биология, ботаника, геоботаника, биоразнообразие, зоология, орнитология, молекулярная биология, микробиология, вирусология, физиология, анатомия, генетика, биотехнология, гидробиология, биохимия, экология).

3. ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

(педагогика и психология, специальная педагогика, практическая психология; дошкольное обучение и воспитание, педагогика и методика начального обучения; музыкальное образование, культурно-досуговая работа; физическая культура и спорт, физическая культура и начальная военная подготовка; социальная педагогика и самопознание; дефектология, дефектология (логопедия), специальная педагогика (логопедия), олигофренопедагогика, сурдопедагогика, дефектология (сурдопедагогика), дошкольная дефектология; филология, иностранный язык: два иностранных языка, русский язык и литература, казахский язык и литература, иностранная филология, переводческое дело).

4. СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

(история; журналистика, PR-журналистика; государственное и местное управление, менеджмент, финансы, учет и аудит, экономика, государственное администрирование, экономика в бизнесе; юриспруденция, туризм).

5. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

(технология продовольственных продуктов; агрономия, защита и карантин растений; технология производства продуктов животноводства; лесные ресурсы и лесоводство).

6. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

(дизайн; радиотехника, электроника и телекоммуникации; машиностроение, электроэнергетика, транспорт, транспортная техника и технологии; строительство,

проектирование и информационное моделирование строительных объектов, стандартизация, сертификация и метрология (по отраслям), экспертиза и аудит качества (по отраслям).

7. ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

(теоретические основы информатики; компьютерные науки (Computer science); информационные системы и процессы; электронные коллекции и библиотеки; искусственный интеллект и интеллектуальные системы; робототехника; информационная безопасность и защита информации; информационно-измерительные системы; управление в социальных и экономических системах; автоматизация и управление технологическими процессами и производствами; веб-дизайн; системный анализ; управление и обработка информации; математическое и программное обеспечение.

8. ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

(казахский язык и литература, русский язык и литература, иностранный язык: два иностранных языка, иностранная филология; переводческое дело).

Язык издания: казахский, русский, английский.

Территория распространения: Республика Казахстан, дальнее и ближнее зарубежье.

Главный редактор: Демьяненко Александр Валентинович, профессор кафедры «Энергетика и радиоэлектроника», кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент).

Редактор: Островская Валерия Станиславовна, методист Департамента науки СКУ им. М. Козыбаева.

Периодичность: 4 раза в год.

Сроки приема, рассмотрения статей и выхода в печать журнала:

№1 – Прием статей до 15 февраля, редакция рассматривает с 16 до 28 февраля, выход в печать – до 30 марта;

№2 – Прием статей до 15 мая, редакция рассматривает с 16 до 30 мая, выход в печать – до 30 июня;

№3 – Прием статей до 15 августа, редакция рассматривает с 16 до 30 августа, выход в печать – до 30 сентября;

№4 – Прием статей до 15 ноября, редакция рассматривает с 16 до 30 ноября, выход в печать – до 30 декабря.

Выпуск: в электронном виде; на бумажном носителе – издается в Издательско-полиграфическом отделе СКУ им. М. Козыбаева.

Адрес редакции: СКО, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86, 150000.

Журнал включен в базу данных РИНЦ (eLIBRARY).

Все статьи принимаются on-line на сайте журнала https://vestnik.ku.edu.kz/jour через личный кабинет автора.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЕ

Объем – не менее 5 страниц (без учёта аннотаций и списка источников).

Структура статьи включает в себя следующие разделы:

- НАЗВАНИЕ включает в себя информацию об авторах (фамилию и инициалы, полное название учреждения или организации, город, страну, адрес электронной почты автора-корреспондента, ответственного за переписку с редакцией);
- АННОТАЦИЯ Обязательные компоненты аннотации: информативность (объем аннотации не более 300 слов); оригинальность (новизна статьи); содержание (основное содержание статьи и результаты исследования); структура; выводы. Аннотация для всех статей приводится на 3-х языках: казахском, русском и английском. Если статья автора на казахском языке, то сначала размещаются название статьи и аннотация на казахском языке, а затем на двух других языках. Если статья на русском или английском языках – делается аналогично;
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА (от 5 до 8 ключевых терминов или словосочетаний), использованных в статье. Ключевые слова приводятся на 3-х языках: казахском, русском и английском.
- ВВЕДЕНИЕ включает обоснование актуальности, степени разработанности темы (возможен краткий обзор научной литературы по теме исследования); формулировку проблемы исследования; описание объекта и предмета исследования, цели и задач статьи; краткая характеристика ее структуры;
- МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ) представляют собой описание методов и материалов, использованных в исследовании, включая методы сбора, обработки и анализа данных; характеристика выборки (если используется выборочный опрос);
- РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ представлены описанием и интерпретацией полученных результатов с помощью рисунков, таблиц, графиков, чертежей;
- ОБСУЖДЕНИЕ/ДИСКУССИЯ
- ВЫВОДЫ содержат формулировку выводов на основе полученных результатов; сравнение полученных результатов с уже имеющимися результатами по данной теме; оценка научной новизны и практической ценности полученных результатов;
- ИНФОРМАЦИЯ О ФИНАНСИРОВАНИИ, БЛАГОДАРНОСТИ (если у исследования есть источник финансирования (гранты, программы государственного бюджета), необходимо указать эту информацию);
- СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

– «*Литература*» – на языке оригинала (казахском, русском и других неанглийских языках) оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Ссылки на источники на языке, использующем кириллицу, должны быть транслитерированы латинскими буквами (можно использовать https://translit-online.ru).

– «*Список литературы*» – на английском языке (отформатирован в соответствии с Международным библиографическим стандартом APA (http://www.bibme.org/citation-guide/APA/book).

Ссылки на источники обязательны. Первая ссылка в тексте на литературу должна иметь номер [1], вторая – [2] и т. д. по порядку. При ссылке на результат из книги следует указать его номер в списке литературы и (через запятую) номер страницы, на которой опубликован этот результат. Например, [8, 325]. Ссылки на неопубликованные работы

не допускаются, ссылки на интернет-источники разрешены. *Для всех публикаций, имеющих идентификаторы DOI, необходимо указывать их после соответствующей публикации в обоих списках литературы*.

Список источников – это индикатор научного кругозора автора. Количество иностранных источников в списке литературы свидетельствует об осведомленности о достижениях науки, а также владении темой. Рекомендуется использовать источники, изданные в течение последних 5-10 лет.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ *(после списка литературы)* включает в себя следующие элементы: фамилию и инициалы авторов; учёное звание; должность или профессию; учёную степень; место работы (полное название учреждения или организации, населённый пункт, название страны); адрес электронной почты.

Все сокращения и аббревиатуры, за исключением общеупотребительных, должны быть расшифрованы при первом использовании в тексте.

Рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и сопровождаться ссылкой на них в тексте статьи. Например, *«На рисунке 1 показаны ...», или «В таблице 2 представлены данные о ...»*.

Также таблицы и рисунки должны быть озаглавлены, таблицы – сверху, рисунки – снизу. Рисунки, графики должны быть представлены в одном из стандартных форматов: PS, PDF, TIFF, GIF, JPEG, BMP, PCX. Точечные рисунки должны быть выполнены с разрешением 600 точек на дюйм. Рисунки и фотографии должны иметь четкое качество изображения. На чертежах должны быть четко представлены все детали.

Рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и сопровождаться ссылкой на них в тексте статьи.

Статьи, не отвечающие по содержанию и оформлению вышеперечисленным требованиям, к публикации не принимаются и отклоняются редакцией без рассмотрения их по существу.

Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінің Хабаршысы

Меншік иесі: ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің «Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КеАҚ. № KZ66VPY00102049 қайта есепке қою туралы куәлік 2024 жылдың 26 қыркүйектегі ҚР Мәдениет және ақпарат министрлігімен берілген.

Басылуға 30.09.2026 ж. қол қойылды. Пішімі 60×90 1/8. Times гарнитурасы.
Көлемі 49,9 б.т. Таралымы 200 дана. Кітап-журнал қағазы. Тапсырыс №201.
М. Қозыбаев атындағы СҚУ баспаханасында басылды. 150000, Петропавл қ., Пушкин к., 86.

Вестник Северо-Казахстанского университета имени Манаша Козыбаева

Собственник: НАО «Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан
Свидетельство о постановке на переучет № KZ66VPY00102049 от 26 сентября 2024 г. выдано Министерством культуры и информации РК.

Подписано в печать 30.09.2026 г. Формат 60×90 1/8. Гарнитура Times.
Объём 49,9 усл. печ. л. Тираж 200 экз. Бумага книжно-журнальная. Заказ №201.
Отпечатано в СКУ им. М. Козыбаева. 150000, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86.

Bulletin of Manash Kozybayev North Kazakhstan University

Owned by Manash Kozybayev North Kazakhstan University NPLC of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan
Certificate of re-registration No. KZ66VPY00102049 dated September 26, 2024, issued by the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan.

Signed for publishing on September 30, 2026. Size: 60x90 1/8. Font type: Times. Volume: 49,9 c. p. sheets.
Number of copies: 200. Order no. 201. Printed on office paper by M. Kozybayev NKU Press,
86, Pushkin street, Petropavlovsk, Kazakhstan, 150000.